

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ ТА ПРИСТРОЇВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З КУРСУ  
“ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ ”

для студентів спеціальності  
“Електронні прилади та пристрої”  
всіх форм навчання

Ухвалено методичною  
комісією факультету (інституту)  
Факультету електроніки  
(назва факультету, інституту)

Протокол №01/13 від 28 січня 2013 р.

Програму рекомендовано кафедрою  
Кафедра електронних приладів та  
пристроїв  
(назва кафедри)

Протокол № \_\_\_\_\_ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 р.  
(протокол №, дата)

Голова методичної комісії

\_\_\_\_\_  
(підпис)                      (ініціали, прізвище)

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)                      Писаренко Л.Д.  
(ініціали, прізвище)

Київ – 2013

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Технологія виробництва електронної техніки” для студентів спеціальності «Електронні прилади та пристрої» / Уклад.: А.І. Кузьмичев, С.Б. Сидоренко, О.М. Бевза –К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 70 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних робіт з курсу  
“Технологія виробництва електронної техніки”

Укладачі: А.І. Кузьмичев, , канд. техн. наук, доц, С.Б. Сидоренко, інж,  
О.М. Бевза, ас.

Відповідальний  
за випуск А.І. Кузьмичев, канд. техн. наук, доц.

Рецензенти: Л.М. Шмирева, канд. техн. наук, доц.

## ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1 ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УСТАНОВКИ .....	4
Лабораторна робота № 2 ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК І ПРОЦЕСУ НАПИЛЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПОКРИТТІВ .....	12
Лабораторна робота № 3 ВИКОРИСТАННЯ ПАКЕТУ P-CAD ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ПЕЧАТНИХ ПЛАТ .....	20
Лабораторна робота № 4 ПАЙКА ЯК МЕТОД З'ЄДНАННЯ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ .....	32
Лабораторна робота № 5 ПОБУДОВА СТАТИСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПАРАМЕТРА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДУ .....	44
Лабораторна робота № 6 СТВОРЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ МОДЕЛІ НЕОНОВОЇ ЛАМПИ ТН-0,2 В ПРОГРАМІ AUTOCAD 2002.....	56

## Лабораторна робота № 1

# ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УСТАНОВКИ

**Мета роботи:** а) ознайомитись з електронно-променевою технологічною установкою;  
б) ознайомитись з устроєм і роботою електронних пушок з різними типами емітерів;  
в) вивчити основні технічні характеристики електронних пушок, виміряти вольт-амперні характеристики газорозрядної електронної пушки.

## 1. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

### 2.1 Електронно-променеві технології

У останні десятиліття широкий розвиток і застосування в промисловості знаходять прогресивні електронно-променеві технології. Можливості застосування електронного пучка як технологічного інструмента досить широкі і багатобразні: від отримання тонкоплівкових покриттів і зварки тонкостінних виробів в мікроелектроніці і приладобудуванні до виплавки великогабаритних злитків в металургії. Це обумовлено рядом переваг електронного пучка, серед яких відзначимо наступні:

- висока щільність потужності у фокусі електронного пучка (може досягати порядку  $10^{10}$  Вт/см<sup>2</sup>);
- простота управління пучками заряджених частинок, що дозволяє легко здійснювати автоматизацію і програмування будь-яких технологічних процесів;
- процес проводиться у вакуумі, що знижує вірогідність попадання в область обробки різних забруднень;
- висока продуктивність процесу.

Велика різноманітність фізичних і хімічних ефектів, що відбуваються в твердому тілі під впливом електронного бомбардування, зумовила широкий набір технологічних операцій, що виконуються за допомогою електронного пучка. Технологічні операції електронно-променевих технологій можна розділити по методах електронно-променевої дії, для яких загальним є характер процесів, що протікають в твердому тілі при дії пучка, серед яких необхідно виділити:

1. Методи електронного нагріву, основу яких складають теплові процеси, що не приводять до руйнування речовини (знегажування, віджиг, зварка, пайка).

2. Електронно-ерозійні методи, що базуються на руйнуванні речовин і на видаленні її частинок з утворенням отворів, каналів і т.д. (розмірна обробка, випаровування і т.д.).

3. Методи, що використовують радіаційну дію електронів на речовину, викликають зміну будови кристалів і виникнення дефектів в твердому тілі (прискорення дифузії, зміна фізично властивостей поверхні).

4. Методи, що базуються на хімічній дії електронних пучків, що проявляються в стимулюванні процесів дисоціації складних хімічних сполук і в прискоренні процесів полімеризації (знегажування поверхонь, нанесення полімерних плівок, електроннографія).

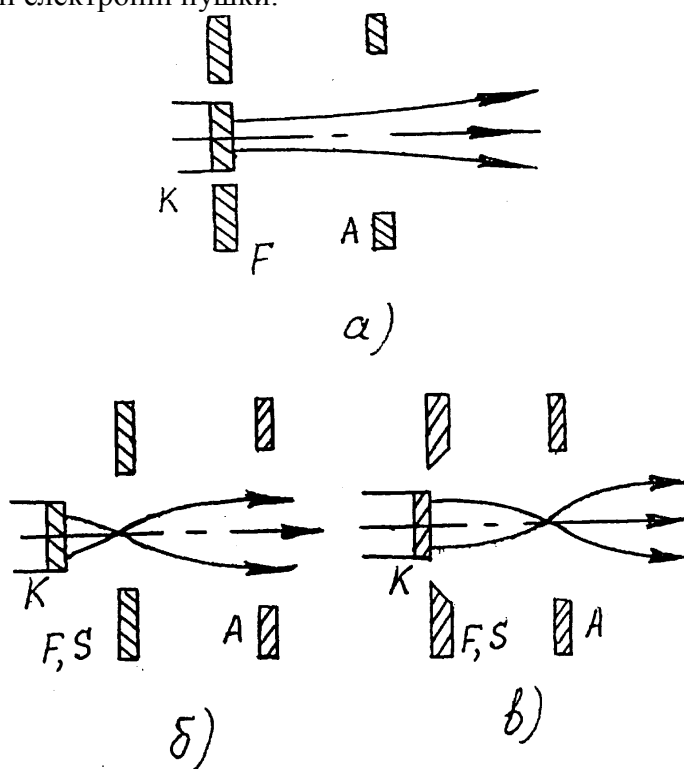
Крім того, електронний промінь при виконанні технологічних операцій використовується як аналізуючий і контрольно-вимірювальний інструмент, що дозволяє підвищувати точність проведення технологічних операцій, виявляти дефекти, контролювати параметри приладів в процесі їх виготовлення.

Параметрами, що характеризують той або інший процес електронно-променевої технології, в першу чергу є: потужність електронного пучка, питома потужність на поверхні виробу, що оброблюється, напруга прискорення, струм пучка, діаметр пучка на поверхні виробу.

## 2.2 Електронні пушки, їх класифікація і основні характеристики

Електронною пушкою називається пристрій, призначений для отримання вільних електронів, їх прискорення, формування в електронний пучок і проведення його до виробу, що оброблюється. Для отримання вільних електронів найчастіше використовують термоелектронні, плазмові або холодні емітери. Крім того, в деяких конструкціях пушок використовується фотоемісія, автоелектронна емісія і вибухова емісія, що дозволяє набувати найбільшого значення щільності струму електронів з поверхні катода. У всіх існуючих конструкціях електронних пушок виділяють область формування пучка і область транспортування пучка. В області формування електронного пучка відбувається прискорення електронів і їх формування в електронний пучок під дією прискорюючого і фокусуєчого електричних полів. Вузол промінепроводу служить для проведення пучка до виробу, що оброблюється, при цьому зазвичай використовуються магнітні фокусуєчі лінзи і системи, що відхиляють.

Залежно від завдань конкретних процесів електронно-променевої технології, використовуються пушки, які по потужності пучків, по напрузі прискорення і по питомій потужності відрізняються на декілька порядків. Найбільшого поширення набули термокатодні пушки, серед яких виділяють пушки Пірсу, довгофокусні пушки і пушки з кільцевим потоком електронів (Рис. 1). Проведення сформованого пучка здійснюється шляхом фокусування і відхилення з використанням принципів електронної оптики. У технологічних пушках використовуються короткофокусні магнітні лінзи, що дозволяють проводити фокусування електронного пучка до діаметру  $10^{-10}$  м. Відхилення електронних пучків, що формуються термокатодними пушками, найчастіше здійснюється за допомогою магнітних диполітиків. Термокатодні пушки формують електронні пучки потужністю більш 1Сг Вт/см, а загальна потужність цих пушок може складати десятки-сотні кіловат. Проте для стабільної роботи термокатодних пушок потрібний вакуум не гірше  $10^{-2}$  Па, а при нижчому вакуумі відбувається отруєння матеріалу термокатода. Тому для роботи в низькому вакуумі, особливо в середовищі активних газів, знаходять застосування електронні пушки з нерозжарюваними катодами, зокрема газорозрядні електронні пушки.



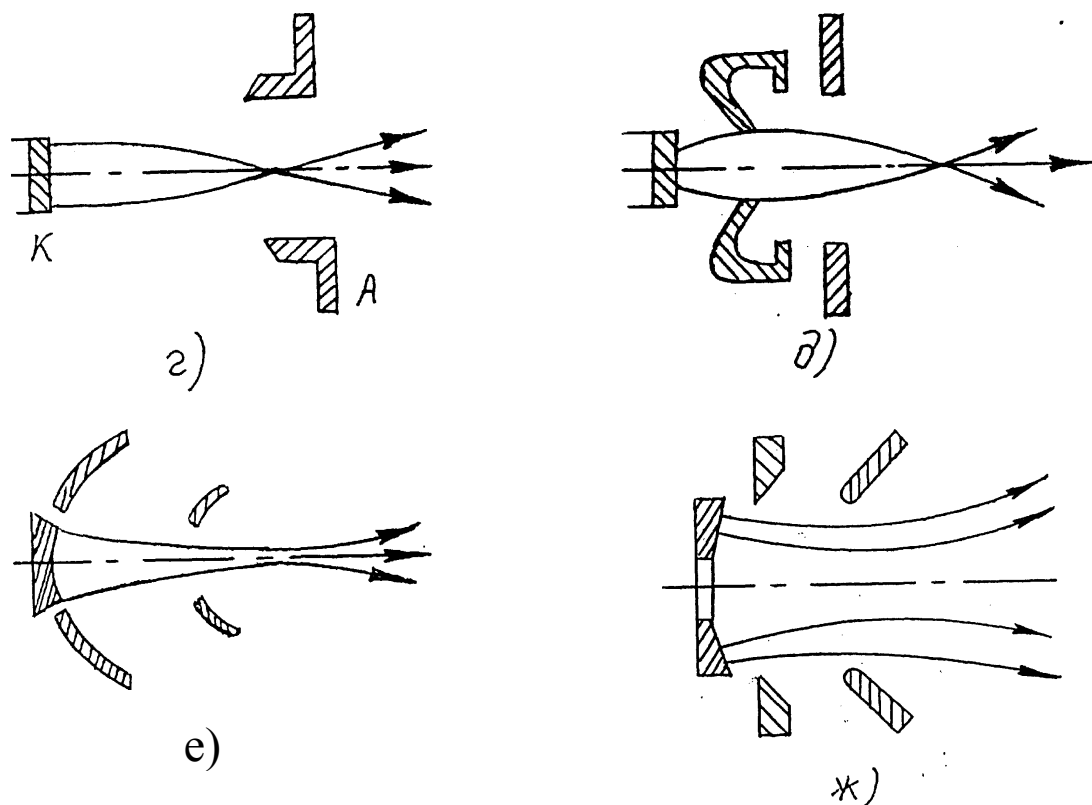


Рис. 1 Схеми електродних систем термокатодних пушок:

а) двоелектродна пушка, б) трьохелектродна пушка, в) трьохелектродна пушка з управляючим і фокусуючим електродом, г) випромінювач Роговського, д) трьохелектродний генератор Штейгервальда, е) пушка Пірсу, ж) двох- або трьох- електродний випромінювач великої потужності. К - катод, F і S – фокусуючі і управляючі електроди. А - анод.

Робота газорозрядних електронних пушок базується на використанні променевої форми високовольтного тліючого розряду, що виникає при тиску одиниці-сотні Па і напрузі прискорення одиниці-десятки кіловольт, коли направлений рух заряджених частинок в електричному полі переважає над хаотичним. Емісія електронів з поверхні холодного катода відбувається під дією бомбардування його іонами і прискореними нейтральними частинками. Позитивні іони емітуються з поверхні анодної плазми, яка утворюється в результаті іонізації газу електронами, прискореними в області катодного падіння. Між областю анодної плазми і областю катодного падіння потенціалу існує різка межа, яку можна розглядати як прозорий анод.

Високовольтний тліючий розряд відповідає лівій гілці кривої Пашена і може бути віднесений до простого і щільного розряду. В порівнянні з нормальним і аномальним розрядами в катодній області високовольтного тліючого розряду (ВТР) протікають не всі процеси, необхідні для його підтримки. Анодна плазма грає активну роль і відрізняється від плазми негативного світіння і позитивного анодного стовпа. У ВТР із-за високої швидкості електронів, прискорених в катодній області, і малого тиску газу виконується режим одноразових зіткнень, що приводить лише до розсіювання їх незначної частини, і втратами енергії електронів в розрядному проміжку можна нехтувати. Одновимірна спрощена модель аномального тліючого розряду приведена на Рис. 2 (а). На холодному катоді К відбувається вторинна електронна емісія і розпилювання матеріалу катода під дією іонів і швидких нейтральних атомів. Зміна геометрії поверхні катода і її емісійних властивостей вважаються повільними і квазістаціонарними. В області катодного падіння потенціалу, між катодом і плазмовою межею, проходження заряджених частинок описується рівняннями розподілу електричного поля і рівняннями руху, при цьому враховується внесок електронів, іонів, їх взаємодія і перезарядки.

Анодна плазма утворюється за рахунок іонізації швидкими електронами катода, а також розсіяними і відбитими від анода електронами. Енергія може передаватися плазмі при парних і при колективних взаємодіях. Анод і стінки, що обмежують плазму, можна розглядати як вторинні емітери, що поставляють в плазму вторинні електрони  $J_{es}$ , недружньо віддзеркалені електрони  $J_{en}$ , електрони, що емітуються під дією іонів плазми  $J_{ex}$ . Одночасно анодну плазму можна розглядати як колектор іонів  $J_{ep}$ , плазмових електронів  $J_{ep}$  і швидких електронів  $J_{ea}$ . Плазма є нерівноважною, температуру електронів і іонів та емісійні властивості плазми вважають квазістаціонарними. На Рис. 2 (б) приведена залежність щільності струму розряду від напруги прискорення, а на Рис. 2 (в) - залежність відстані плазма-катод від напруги прискорення.

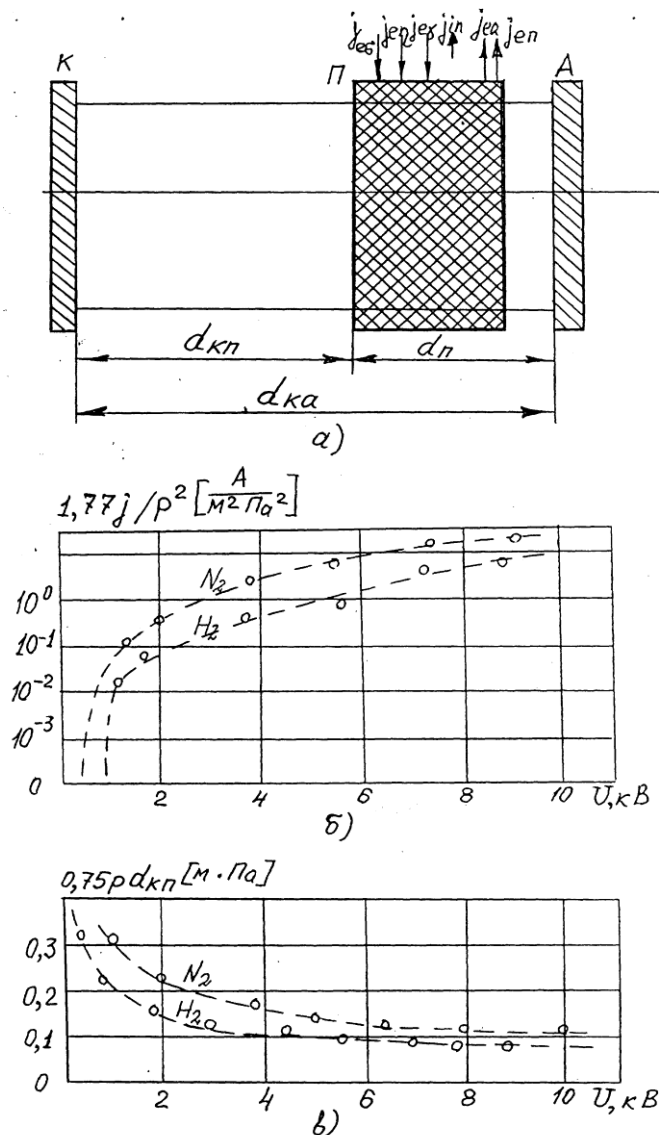


Рис. 2 Одновимірна модель ВТР (а) і залежності щільності струму електронів (б) і відстані плазма-катод (в) від напруги прискорення для водню і азоту.

Як емісійні матеріали для холодного катода найчастіше використовується алюміній, іноді інші метали, сплави і з'єднання. Порівняно невелика величина коефіцієнта іонно-електронної емісії, що зазвичай не перевищує  $0,1 A/cm^2$ , обумовлює використання в газорозрядних електронних пушках холодних катодів з великою емісійною поверхнею. Простота виготовлення таких катодів і наявність плазмового анода дозволяють порівняно легко формувати профільні пучки різної конфігурації. Схеми деяких електродних систем газорозрядних електронних гармат приведені на Рис. 3 (а-в).

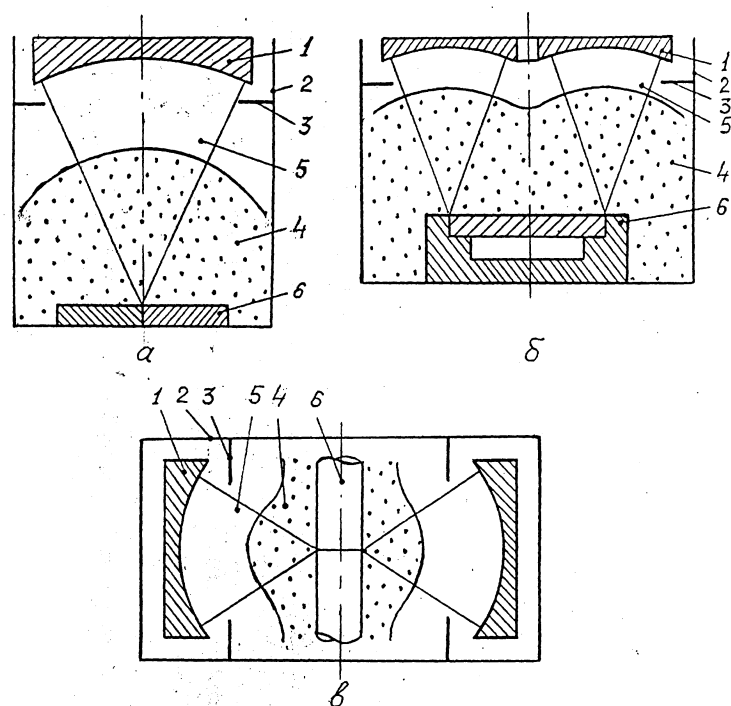


Рис.3 Схеми електронно-оптичних систем газорозрядних електронних пушок з анодною плазмою.

а – пучок з точковим фокусом, б – трубчастий, в – дисковий.

1 – холодний катод, 2 – анод, 3 – анодна діафрагма, 4 – плазма, 5 – електронний пучок, 6 – виріб.

Управління струмом електронного пучка в газорозрядних пушках при незмінній напрузі прискорення здійснюється регулюванням параметрів анодної плазми. Це можна зробити, або змінюючи тиск в розрядній камері, або зміною електричних параметрів шляхом подачі напруги на управляючий електрод. При цьому змінюються параметри анодної плазми і, отже, струм пучка.

Проведення короткофокусних електронних пучків газорозрядних електронних пушок в область виробу, оброблюється здійснюють на основі тих же принципів, що і для термокатодних пушок. При формуванні електронних пучків з точковим фокусом застосовуються короткофокусні магнітні лінзи. При формуванні профільних пучків в режимі коротких імпульсів найчастіше використовують тільки електростатичне фокусування, поміщаючи виріб у фокусі пучка, що формується поверхнею сферичного катода.

Значення струму електронного пучка, що формується газорозрядною електронною гарматою, складає від сотень міліампер до одиниць ампер, загальна потужність зазвичай не перевищує десятків кіловат, а питома складає близько  $5 \cdot 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>. Потужність пушок, що формують профільні пучки, при великих розмірах катода може досягати десятків-сотень кіловат, проте при цьому їх питома потужність не перевищує  $10^4$  Вт/см<sup>2</sup>.

### 2.3 Електронно-променеве технологічне устаткування

Для виконання технологічних операцій за допомогою електронного променя застосовують різні види електронно-променевого технологічного устаткування. Проте, не дивлячись на різноманітність електронно-променевих установок, призначених для виконання різних технологічних операцій, можна виділити окремі елементи і блоки, що входять до складу електронно-променевого технологічного устаткування. У загальному випадку електронно-променева технологічна установка містить наступні основні елементи: електронну пушку, вакуумну камеру, систему відкачки, високовольтне джерело живлення пушки, і системи



управління і контролю за роботою вузлів пушки і за процесом обробки виробу. Схема електронно-променевої технологічної установки приведена на Рис. 4.

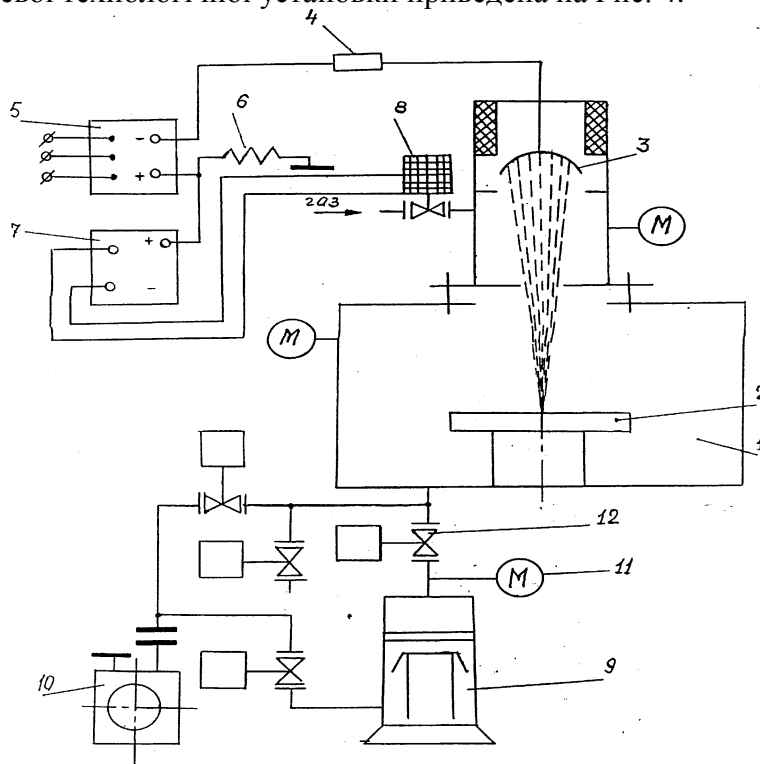


Рис. 4 Схема електронно-променевої установки з газорозрядною пушкою. 1 - вакуумна камера; 2 - робочий стіл; 3 - газорозрядна електронна пушка; 4 - баластний опір; 5 - високовольтне джерело живлення; 6 - датчик струму розряду; 7 - регулятор струму розряду; 8 – електромагнітний натікач; 9 - високовакуумний насос; 10 – форвакуумний насос; 11 - манометри; 12 - вентилі.

Розрізняють універсальні і спеціалізовані електронно-променеві технологічні установки. Універсальні установки не орієнтовані на виконання певної технологічної операції, в них передбачена можливість гнучкого управління параметрами електронного пучка і його просторовим розташуванням. Проте, такі установки мають низьку продуктивність. Спеціалізовані електронно-променеві установки пристосовані для виконання конкретних технологічних операцій і для обробки певного виду виробів. Висока продуктивність таких установок досягається за рахунок застосування завантажувальних пристроїв періодичного або безперервної дії і за рахунок автоматизації процесу обробки виробу.

## 2. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Лабораторна установка є універсальною і призначена для дослідження параметрів і характеристик газорозрядних електронних пушок і технологічних процесів, що виконуються з їх допомогою. Установка складається з технологічної вакуумної камери, газорозрядної електронної пушки, системи відкачування, високовольтного джерела живлення газорозрядної пушки, системи управління і контролю параметрів технологічного процесу. На панелі високовольтного джерела живлення розташовуються вимикач мережевої напруги, вимикач високої напруги і регулятор високої напруги. Всередині камери встановлений координатний стіл, на якому розташовується оброблюваний виріб. На панелі вакуумної установки розташовані кнопки для включення насосів і для переміщення вакуумних затворів.

Управління струмом пучка в газорозрядній пушці здійснюється зміною тиску за допомогою автоматичної системи напуску газу. Подача робочого газу в пушку здійснюється за допомогою електромагнітного натікача, що керується електронним блоком. Як датчик вхідного сигналу

при автоматичному регулюванні використовується опір, включений послідовно з пушкою і високовольтним джерелом живлення. Система забезпечує плавне регулювання струму пушки у всьому діапазоні і його стабілізацію на заданому рівні при безперервному відкачуванні. Відкачування газорозрядної пушки здійснюється через вакуумну камеру, що дозволяє забезпечити в ній тиск порядку 10 Па, на два порядки вище, ніж в термокатодній пушці.

### **3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

Ознайомитися з конструкцією і технологічними характеристиками електронно-променевої установки.

1. Завантажити в робочу камеру зразки для термічної обробки.
2. Включити відкачні пристрої і відкачати робочу камеру та пушку до тиску порядку 0,1 Па.
3. Користуючись координатним столом, встановити водоохолоджуваний колектор в зону дії електронного пучка.
4. Виміряти вольт-амперну характеристику газорозрядної пушки.
5. За допомогою координатного столу встановити зразок у фокусі електронного пучка, провести термічну обробку виробу. Записати параметри електронного променя, при яких проводилася технологічна ітерація.
6. Розгерметизувати камеру, витягнути зразок, провести контроль обробки виробу.

### **7. ЗМІСТ ЗВІТУ**

Звіт повинен містити:

1. Завдання по роботі.
2. Розрахунок потужності і питомої потужності електронного пучка для режиму розряду, при якому проводилася технологічна операція.
3. Схему електронно-променевої установки.
4. Таблиці результатів дослідів і графічні залежності.
5. Висновки по роботі.

### **8. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:**

1. Можливості і перспективи використання електронно-променевих технологій в електронній промисловості і приладобудуванні.
2. Перерахуйте основні методи електронно-променевої дії на речовину.
3. Фізична суть електронно-променевої термообробки виробів, при яких параметрах електронного променя вона відбувається?
4. Умови роботи технологічних електронних пушок, як вони залежать від виконуваної технологічної операції?
5. Які типи електронно-променевих технологічних пушок вам відомі? Які типи емітерів в них використовуються?
6. Пристрій і принцип роботи термокатодної електронної пушки.
7. Електронно-оптичні системи термокатодних пушок. Діодні і тріодні системи. Довгофокусні і короткофокусні пушки.
8. Устрій і принцип роботи газорозрядної електронної пушки.
9. Дати характеристику електронно-оптичної системи газорозрядної пушки.
10. Чим відрізняються універсальні електронно-променеві установки від спеціалізованих?
11. Основні вузли технологічної електронно-променевої установки, їх призначення.
12. Способи регулювання потужності електронного пучка в пушках з різними емітерами.
13. Пояснити зміряні залежності струму електронного пучка від напруги прискорення і від тиску.

14. Для яких технологічних операцій, що виконуються за допомогою електронного пучка доцільно використовувати термокатодну пушку, а для яких - газорозрядну?

## **9. ЛІТЕРАТУРА, ЩО РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ**

1. Рикалін Н.В., Зуєв І.В., Углов А.А. Основи електронно-променевої обробки матеріалів. - М.: Машинобудування, 1978. - С. 32-78.
2. Шиллер З., Гайзіг У., Панцер З. Основи електронно-променевої обробки матеріалів. - М.: Енергія, 1980. - С. 7-120.
3. Електронно-променева зварка. / Під ред. Б.Е. Патона. Київ, Наукова думання, 1987. - С. 9-49, 134-163, 200-226.
4. Крейнделъ Ю.Е. Плазмові джерела електронів. М.: Атоміздат, 1977. - С. 62-76.
5. Плазмові процеси в технологічних електронних пушках. / Крейнделъ Ю.Е., Завьялов М.А., Новіков А.А., Шантурин Л.П. - М. : Энергоатоміздат, 1989. - С. 3-36, 97-144.

## Лабораторна робота № 2

### ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК І ПРОЦЕСУ НАПИЛЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПОКРИТТІВ

**Мета роботи:** а) ознайомитися з устроєм електронно-променевої технологічної установки для нанесення покриттів;  
б) вивчити технологічний процес електронно-променевого нанесення діелектричних покриттів;  
в) зміряти діелектричні характеристики отриманих плівок.

#### 1. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

##### 1.1 Тонкоплівкові покриття і їх використання в електроніці

Тонкі плівки (до 1 мкм) і покриття (більше 1 мкм) широко застосовуються в електронній промисловості при виробництві інтегральних мікросхем і інших електронних компонентів. З використанням тонкоплівкових технологій виготовляються елементи напівпровідникових і гібридних інтегральних схем, тонкоплівкові резистори і конденсатори, комутуючі, контактні і ізоляційні шари, а також вироби оптики, криогенної електроніки, СВЧ і функціональної електроніки.

З погляду електропровідності розрізняють провідні, діелектричні і напівпровідникові плівки, електричні властивості яких можуть бути використані при виготовленні резисторів, ємностей і інших компонентів електронних схем. Крім того, у ряді випадків електричні параметри тонких плівок мають яскраво виражену залежність від зовнішніх чинників, що використовується при виготовленні датчиків температури, тиску, випромінювання і т.д.

##### 1.2 Нанесення тонких плівок у вакуумі

Суть технологічного процесу нанесення тонких плівок у вакуумі полягає в нагріві поверхні речовини до температури, достатньої для його випаровування і розповсюдження в навколишньому просторі. Це відбувається, коли тиск насиченої пари речовини на декілька порядків перевищує тиск залишкових газів. При цьому потік пари розповсюджуватиметься прямолінійно і конденсуватися на поверхні підкладки.

При нанесенні тонких плівок складного хімічного складу випаровування речовини проводиться в контрольованому газовому середовищі, що дозволяє уникнути хімічного розпаду речовини, що випаровується за рахунок виділення легко летючих компонентів. Наприклад, напилення оксидів металів проводиться в середовищі з підвищеним вмістом кисню. В цьому випадку в об'ємі камери проходитиме реакція окислення металу.

Слід зазначити, що не вся речовина, що випаровується потрапляє на підкладку і конденсується на ній. У зв'язку з цим введено поняття коефіцієнта використання речовини, що випаровується, яка визначається як відношення маси речовини, що випаровується до маси речовини, нанесеної на підкладку. При нанесенні з'єднань складного хімічного складу, коли реакція відбувається при взаємодії пари металу із залишковим газом, розрахунок коефіцієнта використання речовини проводиться, не виходячи з маси напиленого матеріалу, а виходячи з маси напиленого металу відповідно до хімічної формули речовини. При випаровуванні сплавів і композитів парціальний тиск пари речовин, що випаровуються визначається за законом Рауля:

$$\begin{cases} P_a = x_b P_a^0 \\ P_b = x_b P_b^0 \end{cases} \quad (1)$$

де  $P_a, P_b$  - парціальний тиск компонентів А і В,  $P_a^0$  і  $P_b^0$  - тиск пари чистих компонентів,  $x_a$  і  $x_b$ , - молярні долі компонентів в розчині. При невеликій площі покриттів, що наносяться, можна припустити, що вся маса нанесеної речовини рівномірно розподілена на поверхні підкладки, що спрощує розрахунок маси напиленої речовини.

Реальний характер розподілу речовини на поверхні підкладки визначається виходячи з того, що потік пари з точкового джерела розподілений по закону косинуса:

$$\Phi(\alpha) = \Phi_0 \cos(\alpha) \quad (2)$$

Для опису розподілу потоку пари, що створюється випарником з малою поверхнею, використовують функцію косинуса вищого порядку.

$$\Phi(\alpha) = \Phi_0 \cos^n(\alpha) \quad (3)$$

На Рис. 1 приведений розподіл щільності потоку пари з випарника потужністю 5 кВт.

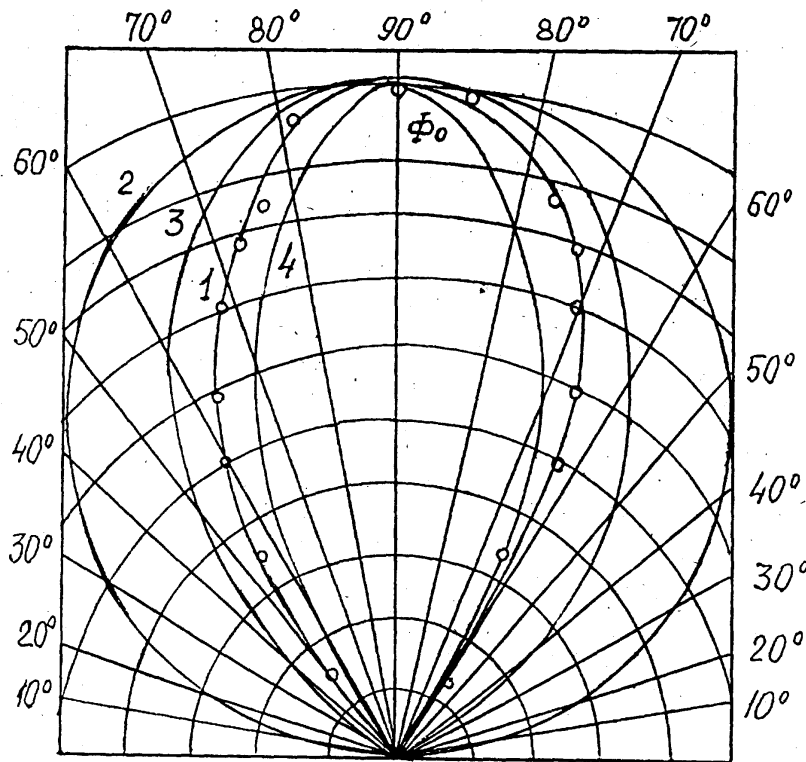


Рис. 1. Розподіл щільності потоку пари з випарника потужністю 5 кВт. Випаровування з водоохолоджуваного тигля, швидкість випаровування 0,4 г/мін. 1 - результати вимірювань; 2 - розподіл  $\Phi(\alpha) = \Phi_0 \cos(\alpha)$ ; 3 - розподіл  $\Phi(\alpha) = \Phi_0 \cos^2(\alpha)$ ; 4 - розподіл  $\Phi(\alpha) = \Phi_0 \cos^3(\alpha)$ .

Якщо, припустити, що напилення проводиться у високому вакуумі і масоперенос відбувається без розсіяння на молекулах газу подібно до світлового потоку, то товщина покриття в довільній точці Р буде рівна:

$$t_p = \frac{\omega \cos \theta}{4\pi r Z^2} \quad (4)$$

де  $\omega$  - маса випарованого матеріалу,  $\rho$  – його щільність,  $Z$  - відстань від джерела до точки Р,  $t_p$ - товщина покриття,  $\theta$  - кут нахилу поверхні до падаючих молекулярних пучків.

При розташуванні декількох точкових джерел по кільцю:

$$t_p = \frac{\omega Z_0}{4\pi\rho n_f} \sum_{i=1}^{n_f} \left( \frac{1}{Z_i^2} \right)^3 \quad (5)$$

де  $n_i$  - число джерел,  $Z_i$  - відстань від точки Р до відповідної спіралі.

Тоді у разі суцільного кругового джерела:

$$t_p = \frac{\omega}{8\pi^2\rho} \int_0^{2\pi} \frac{d\theta}{Z^3} \quad (6)$$

де  $Z$  - відстань від точки Р до елементу кругового джерела,  $d\theta$  - елемент кута даного джерела при огляді з точки Р.

### 1.3.Методи вимірювання товщини тонких плівок

У техніці тонких плівок застосовуються різні методи контролю товщини нанесеного шару і швидкості напilenня. Товщину плівки  $\Delta$  можна визначити орієнтовно шляхом підрахунку повної ваги металу, що випарувався. У основі методу зважування лежить визначення товщини плівки по кількості осажденої речовини. Товщина плівки  $\Delta$  визначається як:

$$\Delta = \frac{G}{S\gamma}, \quad (7)$$

де  $G$  - маса осажденого матеріалу,  $S$  - площа покриття,  $\gamma$  - густина речовини, що наноситься. Для визначення ваги плівки використовуються дуже точні ваги, наприклад ваги Пауля і Бесселя або крутильні мікроваги.

Механічні методи вимірювання базуються на порівнянні товщини шару з прокаліброваним масштабом довжин. Для цього використовуються спеціальні мікрометри. Проте при використанні механічних методів відбувається часткове руйнування плівки унаслідок впровадження в неї вимірювального інструменту.

У основі резистивного методу лежить залежність між товщиною і електричним опором нанесеного покриття на постійному струмі. При цьому товщина плівки визначається по формулі:

$$\Delta = \frac{\rho \cdot a}{Rb} \quad (8)$$

де  $\rho$  – питомий опір нанесеного металу,  $a$  і  $b$  – довжина і ширина плівки відповідно,  $R$  - поверхневий опір плівки. Слід мати на увазі, що питомий опір тонких плівок істотно відрізняється від відповідної величини для кристалічних речовин, і в співвідношення (8) необхідно вводити відповідний поправочний коефіцієнт.

В основі ємнісного методу покладено вимірювання ємності конденсатора при зміні товщини діелектричної плівки між її обкладинками. Товщина шару визначається по формулі:

$$\Delta = \frac{\varepsilon \cdot S}{4\pi C} \quad (9)$$

де  $S$  - площа покриття,  $\varepsilon$  - діелектрична постійна нанесеної речовини,  $C$  - ємність конденсатора з нанесеною діелектричною плівкою.

В основі іонізаційного методу лежить іонізація електронами, що емітуються розжареним катодом, потоку пари і матеріалу, що випаровується, і подальше вимірювання величини іонного

струму за допомогою іонізаційного вакуумметра. Цей метод зручний для визначення швидкості наплення, пропорційної змінної складової іонного струму.

У методі вимірювання товщини на основі кварцового генератора поряд з підкладкою поміщається кварцовий кристал. Тоді про кількість напленої речовини можна судити по зміні частоти кварцового генератора, і визначати товщину плівки по формулі:

$$\Delta = \frac{m_0}{f_0 S \gamma} \Delta f \quad (10)$$

де  $m_0$  - маса кварцу;  $f_0$  - резонансна частота. кварцу;  $S$  - площа кварцового кристала, покрита плівкою речовини, що наплюється;  $\Delta f$  - зміна (зсув) фаз резонансної частоти кварцу після наплення плівки.

Існує значна кількість оптичних методів визначення товщини плівок: метод двох мікроскопів; метод зміни інтенсивності світла, що проходить через плівку; інтерференційні методи, засновані на отриманні різниці двох фаз когерентних променів, залежних від товщини плівок; магнітоелектричний метод (вимірювання ЕДС Холу); радіометричний метод, що використовує  $\alpha$  і  $\beta$  випромінювання, та інші.

### 1.4 Електронно-променеві випарники

У технології вакуумного осадження тонких плівок застосовуються методи безпосереднього нагріву речовини, що випаровується за допомогою резистивного випаровування, СВЧ-нагріву і т.д., і методи, пов'язані з дією на його поверхню концентрованих потоків енергії, серед яких важливе місце займають електронно-променеве випаровування, іонно-плазмові технології і лазерне випаровування. Широке розповсюдження при реалізації тонкоплівочної технології у виробництві напівпровідникових приладів і інтегральних схем отримав метод електронно-променевого випаровування речовини. Це пов'язано з тим, що електронно-променевий нагрів унаслідок високої щільності потужності пучка забезпечує високу швидкість випаровування без наявності краплинних фракцій і дозволяє проводити нагрів всієї поверхні речовини, що випаровується за рахунок сканування електронного пучка, що збільшує однорідність потоку пари. При електронно-променевому випаровуванні використовуються випарники потужністю від 2 до 15 кВт. Напруга живлення, що підводиться до електронного прожектора випарника, зазвичай не перевищує 10 кВ. Схеми конструкцій електронно-променевих випарників приведені на рис. 2.

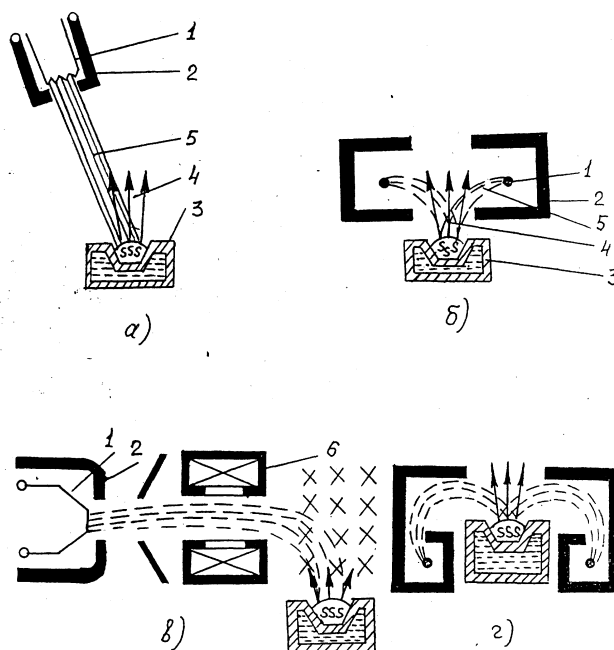


Рис. 2. Схеми електронно-променевих випарників, а - випарник з лінійним катодом і

електростатичним фокусуванням; б - випарник з кільцевим катодом і електростатичним фокусуванням; в - випарник з аксіальною пушкою, магнітним відхиленням і магнітним поворотом пучка на  $90^\circ$ ; г - випарник з кільцевим катодом, електростатичним фокусуванням і електростатичним відхиленням пучка. 1 - катод; 2 - електрод під потенціалом катода; 3 - тигель; 4 - потік пари; 5 - електронний пучок; 6 - магнітна лінза.

Криволінійні траєкторії пучка в просторі, джерело електронів – матеріал, що випаровується, необхідні для того, щоб продукти випаровування не попадали в область прожектора. Інакше значно знижується термін служби катода і підвищується вірогідність виникнення високовольтих пробів в області формування пучка. Криволінійність траєкторій досягається за допомогою використання магнітних лінз. Відхилення пучка в магнітному полі часто проводиться паралельно з його фокусуванням. При цьому пучок може відхилитися на  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  і  $270^\circ$ . Найбільш універсальні електронно-променеві випарники мають незалежне регулювання площі поперечного перетину електронного пучка в зоні нагріву і його розгортку у взаємно-перпендикулярних напрямках. Максимальна чистота потоку пари досягається у разі застосування водоохолоджувальних тиглів, всередині яких розташовується матеріал, випаровується. Електронно-променеве випаровування металів з водоохолоджувальних тиглів дозволяє отримувати покриття високої чистоти, оскільки майже повністю виключаються реакції матеріалу, що випаровується, з матеріалом тигля, а сам матеріал тигля і продукти реакції практично не випаровуються. Для отримання покриттів високої чистоти використовується також безтигельно електронно-променеве випаровування. Понизити теплові втрати і тим самим підвищити швидкість випаровування при високому к.к.д. випарника можна, застосовуючи теплоізолюючі тигельні вставки. Крім того, використання сканування електронного променя для випаровування дає можливість управляти енергетичним потоком в часі і в просторі, що дозволяє впливати на швидкість випаровування і змінювати щільність потоку пари. Принцип електронно-променевого випаровування речовини представлений на Рис. 3. Оскільки генерація і транспортування електронних пучків повинні проводитися у вакуумі, використання вакуумного електронно-променевого випаровування матеріалів можливе без додаткових витрат на вакуумні відкачні пристрої. У своїх основних межах установка для електронно-променевого випаровування металів містить технологічну камеру, систему відкачування, тигель, в якому поміщається матеріал, що випаровується, електронну пушку, заслінку для пари і підкладки з пристосуваннями для кріплення. Для очищення поверхні підкладок використовується їх примусовий підігрів і допоміжний тліючий розряд. Поверхня матеріалу безпосередньо нагрівається електронним пучком до такої температури, що стає джерелом потоку пари. У потоці пари розташовують підкладку, на яку конденсується частина пара, тобто проводиться напilenня. Випарний пристрій доповнюють засобами вимірювання і контролю, які особливо важливі для управління параметрами електронного пучка в процесі напilenня.



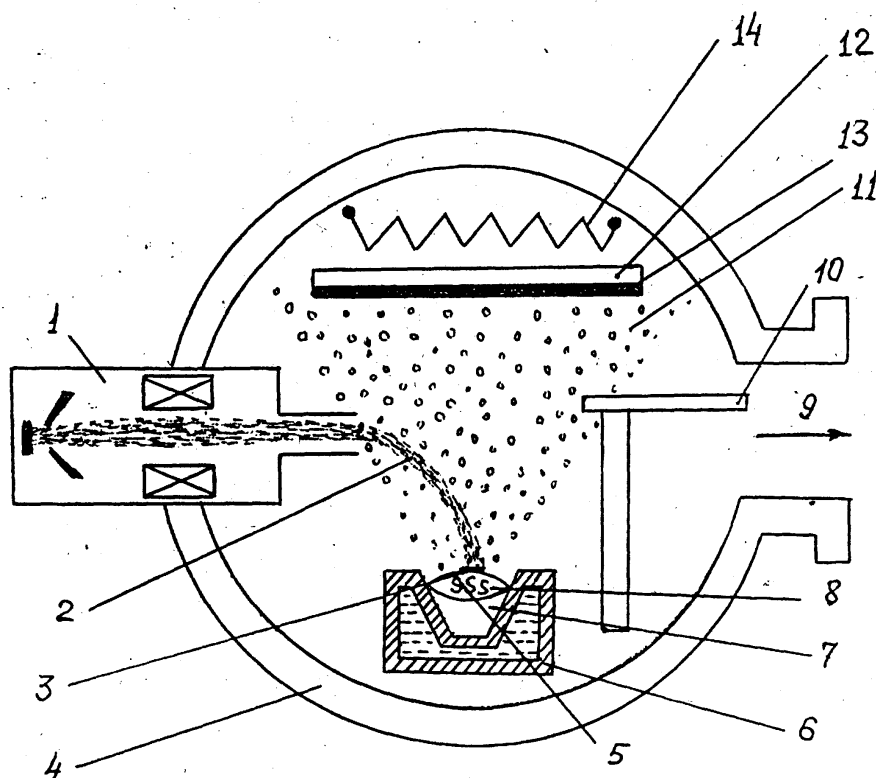


Рис. 3. Принцип електронно-променевого випаровування. 1 - електронна пушка; 2 - електронний пучок; 3 - поверхня, що бомбардується пучком; 4 - кожух технологічної камери; 5 - поверхня випаровування; 6 - водоохолоджувальний тигель; 7 - матеріал, що випаровується; 8 - розплавлений метал; 9 - до вакуумної системи; 10 - заслінка для пари; 11 - потік пари; 12 - напилений шар; 13 - підкладка; 14 - підігрівач підкладок.

## 2. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Лабораторна установка є універсальною і призначена для дослідження технологічного процесу нанесення плівок оксиду металів в низькому вакуумі методом електронно-променевого випаровування. Дана технологічна операція повинна здійснюватися при робочому тиску  $10^{-1}$ - $10^{-2}$  Па при підвищеному вмісті кисню, оскільки при нижчому тиску не відбувається процес окислення пари металу у вакуумній камері. У зв'язку з цим для генерації електронного пучка в роботі використовується газорозрядна електронна пушка з холодним катодом, яка стійко працює в середовищі активних газів. Лабораторна установка складається з технологічної вакуумної камери, газорозрядної електронної пушки, системи відкачування, високовольтного джерела живлення газорозрядної пушки і системи управління і контролю параметрів технологічного процесу. У вакуумній камері розташовані заслінка для пари, підігрівач підкладок, електроди для запалення розряду, використовуваного для очищення підкладок, і тигель, в якому знаходиться речовина, що випаровується. Для виключення впливу потоку пари на параметри пучка газорозрядна пушка розташована горизонтально і закріплена на бічній стінці вакуумної камери. Для проведення електронного пучка до поверхні тигля використовується система магнітного відхилення на  $90^\circ$ . Схема лабораторної установки приведена на рис. 4.

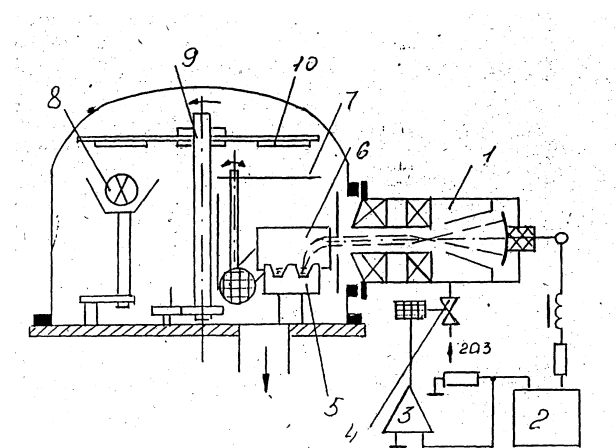


Рис. 4 Схема лабораторної установки 1 - газорозрядна електронна пушка, 2 - високовольне джерело живлення, 3 - електронний блок управління, 4 - натікач, 5 - тигель, 6 - пристрій повороту пучка, 7 - заслінка, 8 - підігрівач, 9 – карусель, 10 - підкладки.

Контроль робочого тиску в розрядній камері пушки здійснюється по струму розряду шляхом зміни тиску за допомогою автоматичної системи напуску газу. Подача робочого газу в пушку здійснюється за допомогою електромагнітного натікача, керованого електронним блоком. Як датчик вхідного сигналу при автоматичному регулюванні використовується опір, включений послідовно з пушкою і високовольним джерелом живлення. Система забезпечує плавне регулювання тиску у всьому діапазоні і його стабілізацію на заданому рівні при безперервному відкачуванні. Оскільки відкачування газорозрядної пушки здійснюється через вакуумну камеру, то підтримка тиску в камері пушки на стабільному рівні забезпечує також його стабілізацію в технологічній камері за відсутності флуктуації струму пучка.

### 3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Визначити масу металу, що випаровується, і помістити його в тигель.
2. Встановити підкладки на підкладотримачах і закрити камеру.
3. Провести відкачування вакуумної камери.
4. Включити кварцову лампу і провести нагрів підкладок.
5. Провести очищення підкладок в плазмі тліючого розряду.
6. Встановити заслінку для пари в положення, в якому пари речовини, що випаровується, не потрапляють на підкладку.
7. Подати високу напругу 15 кВ на катод газорозрядної пушки.
8. Регулятором тиску встановити струм розряду гармати 0,2 А і на протязі однієї хвилини проводити випаровування на заслінку.
9. Відкрити заслінку і впродовж п'яти хвилин проводити випаровування на підкладку.
10. Закрити заслінку і відключити високу напругу.
11. Напустити повітря, відкрити камеру і витягнути підкладки.
12. Визначити опір підкладки резистивним методом

### 4. ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Схему лабораторної установки.
3. Значення напруги прискорення, струму розряду газорозрядної пушки і опору плівки.
4. Розрахунок к.к.д. електронно-променевого випарника.
5. Виводи по роботі.

## 5. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. У чому полягає фізична суть процесу осадження тонких плівок у вакуумі?
2. Які особливості вакуумного нанесення тонких плівок складного хімічного складу?
3. По якому закону розподіляється потік пари при випаровуванні речовини у високому вакуумі з точкового джерела і з випарника з малою поверхнею? За яких умов розповсюдження пари ці закони будуть справедливі?
4. Як визначити розподіл нанесеної речовини на поверхні підкладки у разі точкового джерела пари, декількох точкових джерел, розташованих по кільцю кругового джерела?
5. Які методи контролю товщини покриттів, що напильються, вам відомі? Вкажіть їх основні переваги і недоліки.
6. У чому суть резистивного і ємнісного методів визначення товщини плівок? Чи можна при застосуванні цих методів використовувати довідкові величини, що характеризують електрофізичні параметри кристалічних матеріалів?
7. Суть електронно-променевого випаровування металів, його переваги і можливості його використання в технології вакуумного осадження тонких плівок.
8. Чому електронно-променеве випаровування проводиться переважно з водоохолоджувальних тиглів? Оцініть баланс потужності при дії електронного пучка на поверхню речовини, що випаровується, для цього випадку.
9. Приведіть схеми конструкцій електронно-променевих випарників. З якою метою в них використовується відхилення електронного пучка?
10. За рахунок чого підвищується якість покриттів, що наносяться при скануванні електронного пучка по поверхні виробу?
11. Які основні вузли має електронно-променева установка для нанесення покриттів?
12. Як влаштована технологічна камера електронно-променевого випарника і що в ній розташоване?
13. Які методи очищення підкладок використовуються в електронно-променевих випарниках?

## 6. ЛІТЕРАТУРА, ЩО РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ

1. Осаждение из газовой фазы. / Под ред, К. Пауэла, Дж. Оксли, Дж. Блочера. М.: Атомиздат, 1970. - С. 176-191.
2. Данилин Б. С. Вакуумное нанесение тонких пленок. - М.: Энергия, 1967. - С. 3-78.
3. Технология тонких пленок. Справочник. /Под ред. Майссела Л., Глэнга Р. Т 1 - М.: Советское радио, 1977. - С. 9-174. .
4. Шиллер З. Гайзиг У., Панцер З. Электронно-лучевая технология. М.: Энергия, 1980. - С. 122-239.

## **Лабораторна робота № 3**

### **ВИКОРИСТАННЯ ПАКЕТУ P-CAD ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ПЕЧАТНИХ ПЛАТ**

**Мета роботи:** ознайомитись з методами проектування печатних плат, технологіями їх виготовлення та отримання навиків проектування печатних плат за допомогою спеціалізованого пакету P-CAD.

#### **Програма роботи**

1. Вивчити методи отримання печатних плат.
2. Ознайомитись з принципами роботи програми P-CAD за допомогою самовчителя інсталюваного на комп'ютері.
3. За допомогою програми P-CAD зробити розводку схеми, взятої відповідно номеру в списку групи створеного за абеткою.

**Увага!** *Перед початком роботи кожен студент повинен мати протокол та бути теоретично підготовленим.*

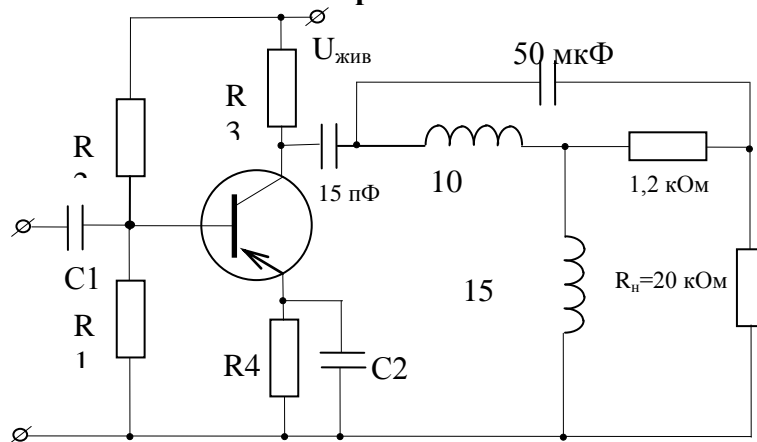
#### **Вимоги до звіту**

Звіт повинен вміщувати:

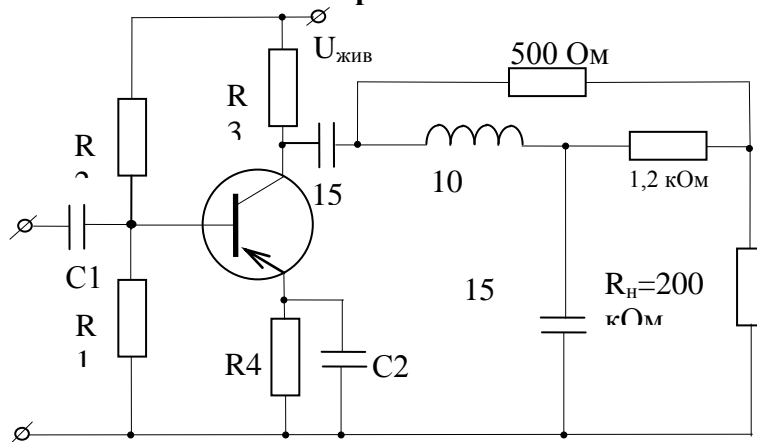
1. Ціль даної роботи.
2. Порядок виконання роботи.
3. Малюнок схеми, що розводиться.
4. Малюнок розведеної схеми з одностороннім монтажем та двохстороннім.
5. Висновки по роботі.

## Варіанти індивідуальних завдань

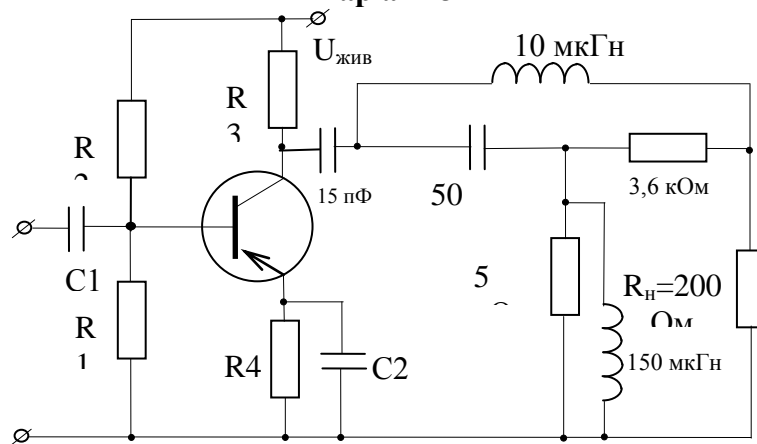
### Варіант 1



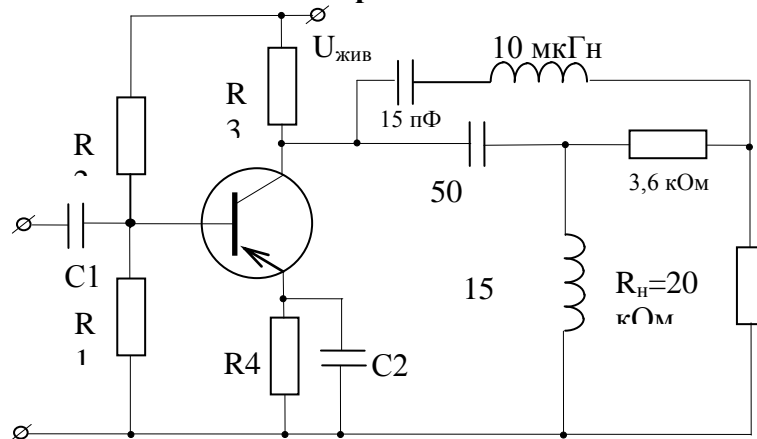
### Варіант 2



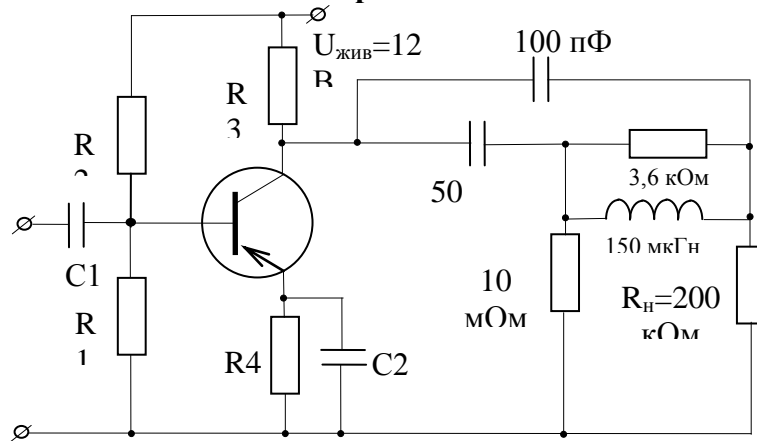
### Варіант 3



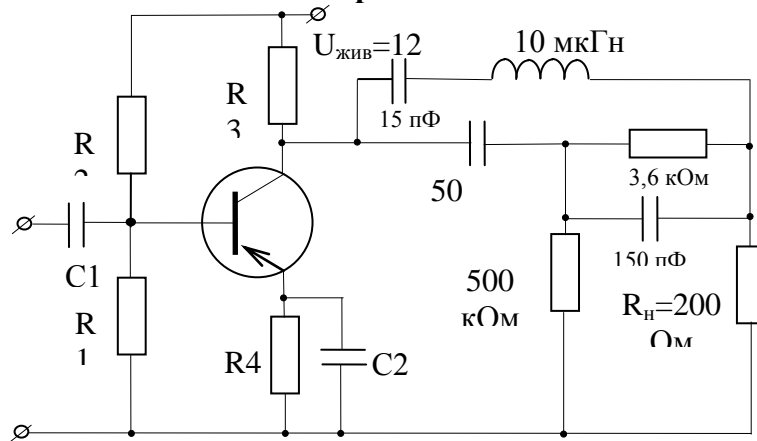
### Вариант 4



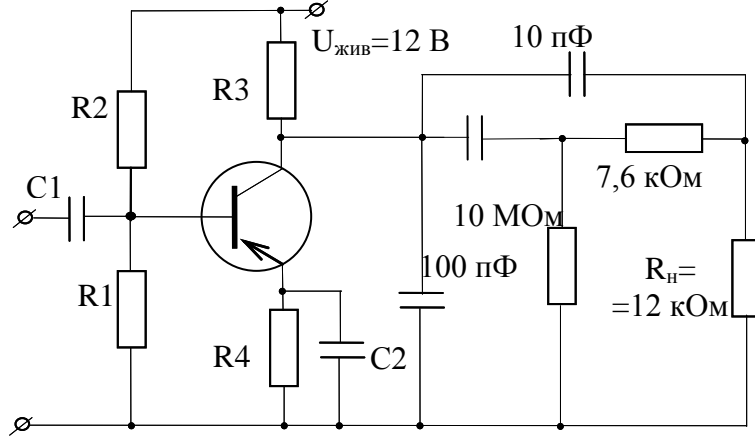
### Вариант 5



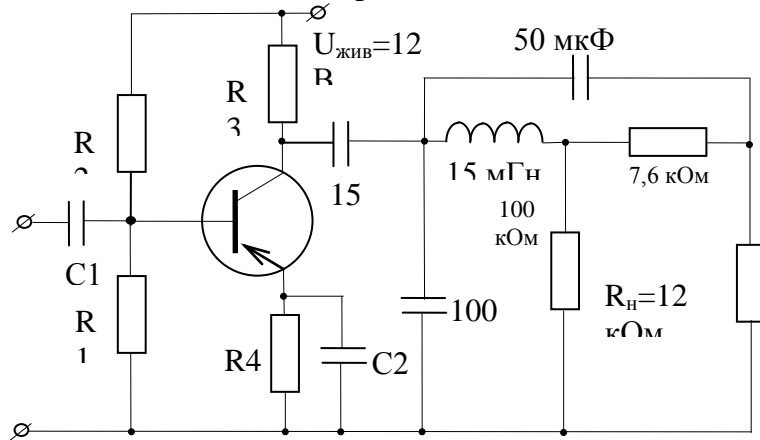
### Вариант 6



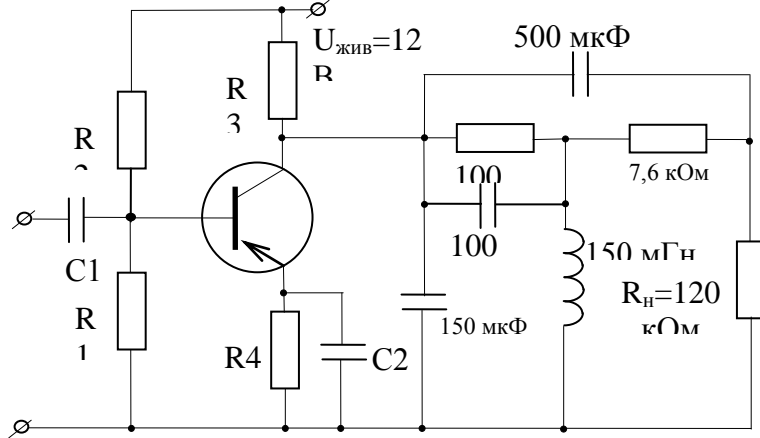
### Варіант 7



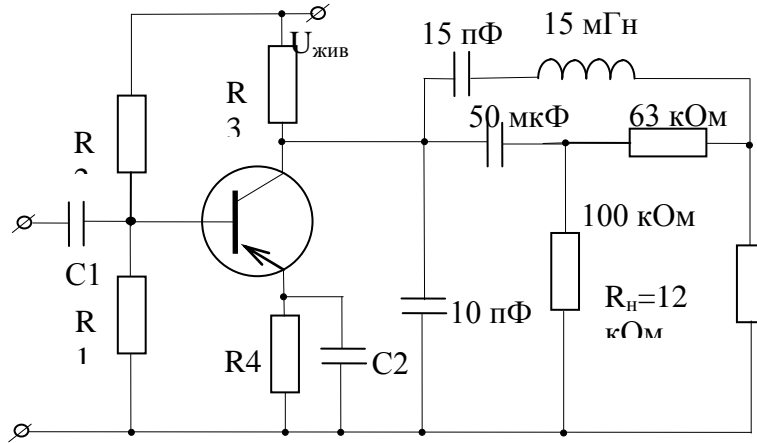
### Варіант 8



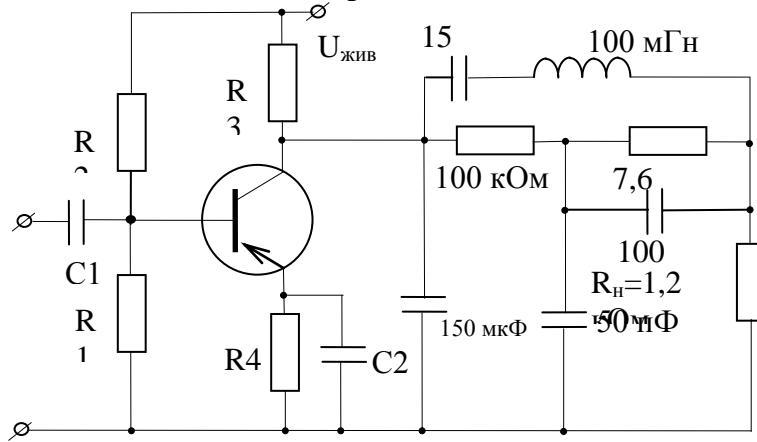
### Варіант 9



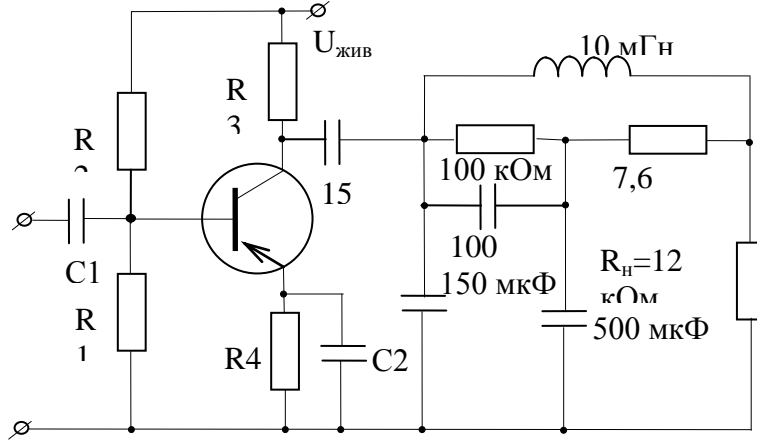
### Вариант 10



### Вариант 11

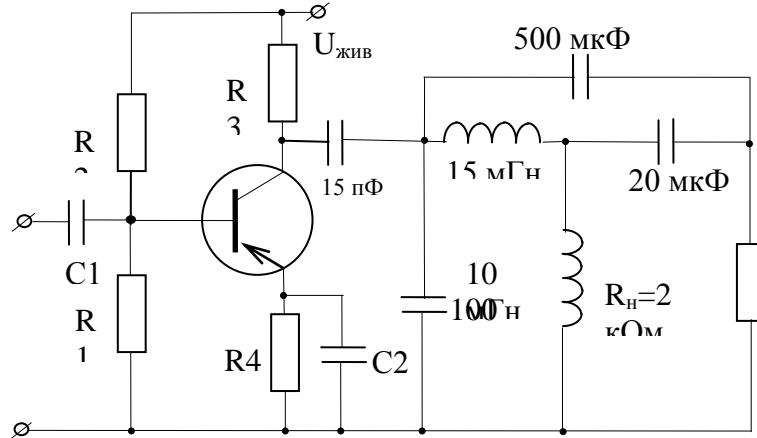


### Вариант 12

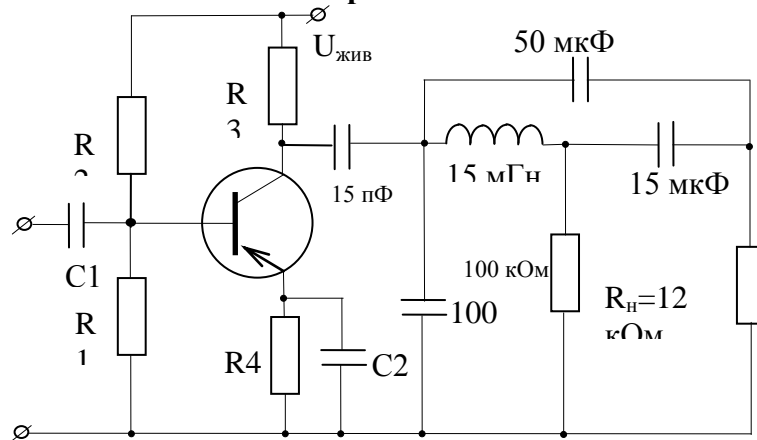




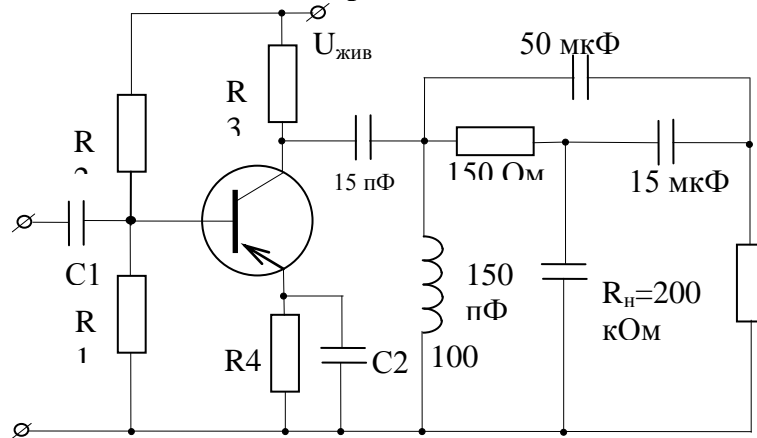
### Вариант 13



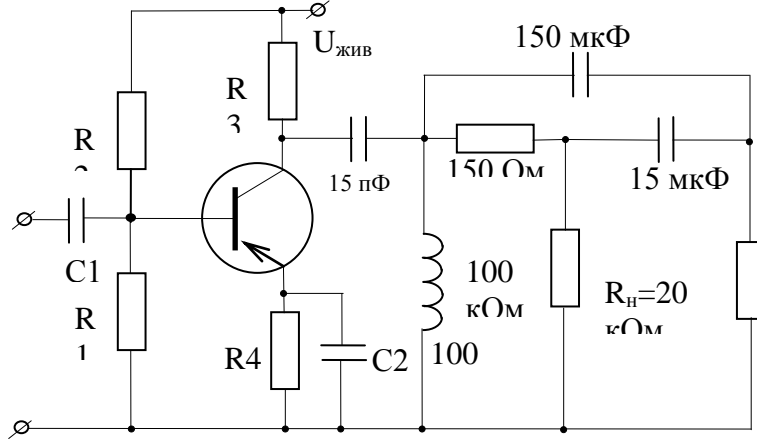
### Вариант 14



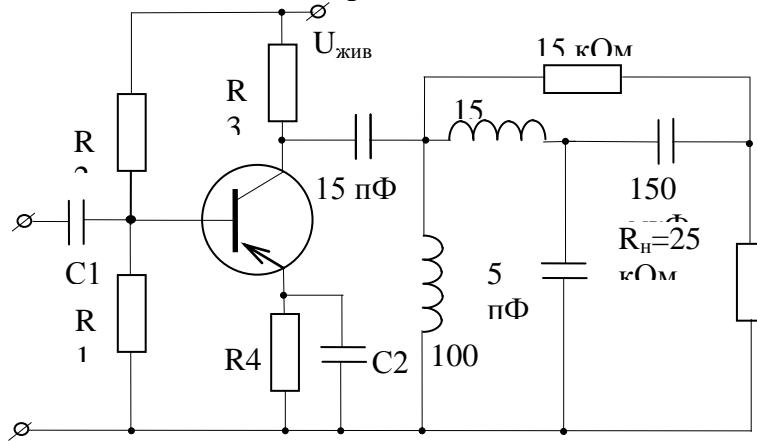
### Вариант 15



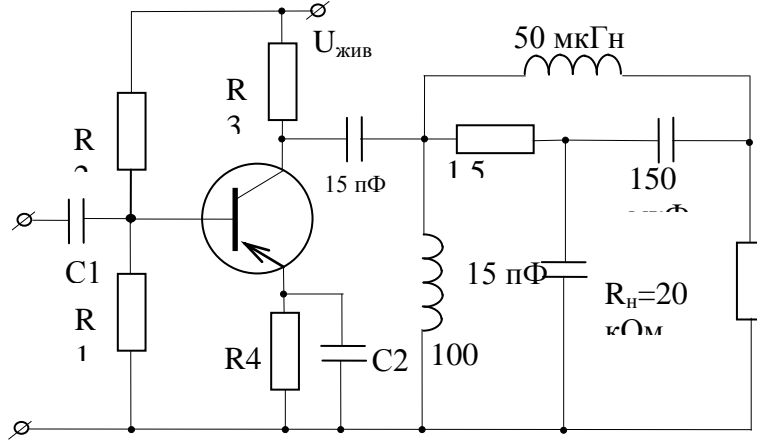
### Вариант 16



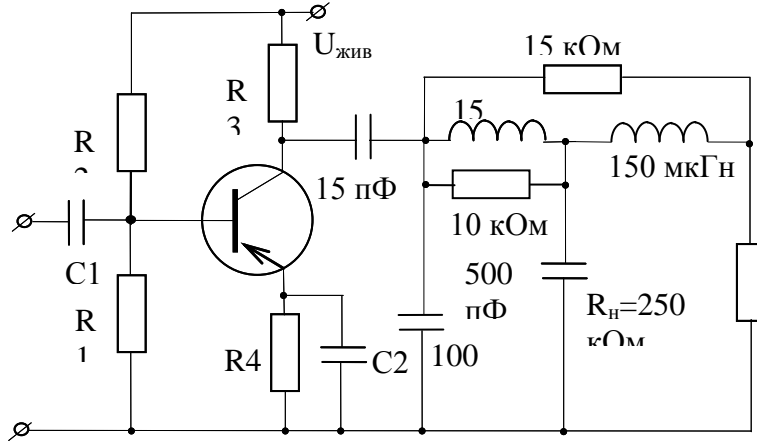
### Вариант 17



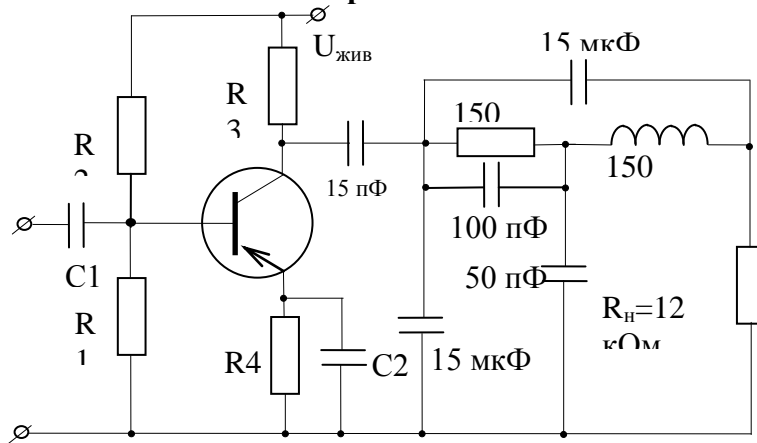
### Вариант 18



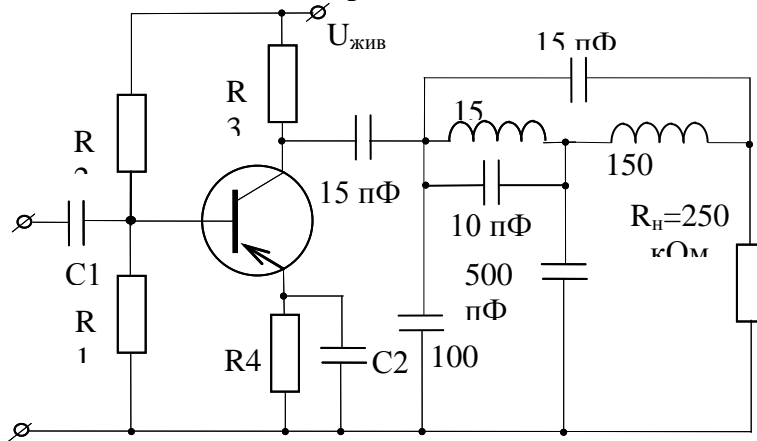
### Вариант 19



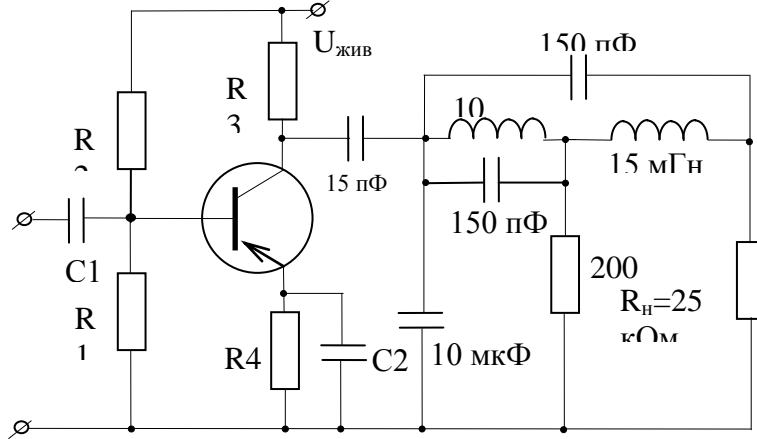
### Вариант 20



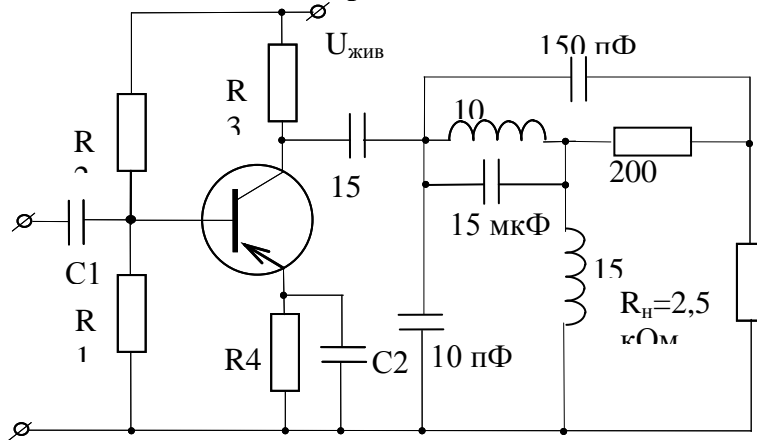
### Вариант 21



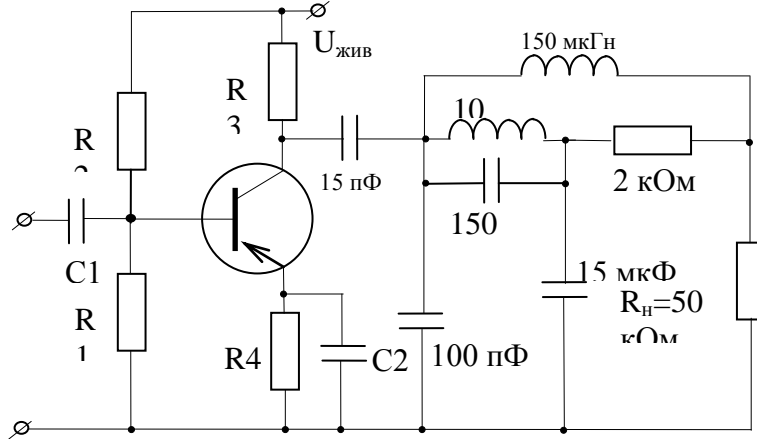
### Вариант 22



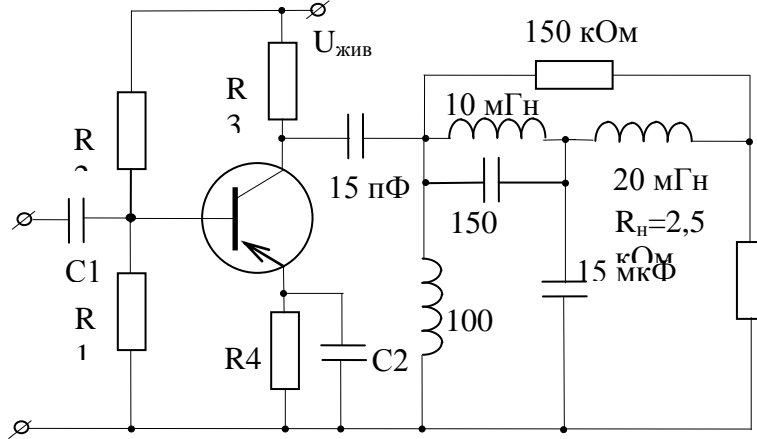
### Вариант 23



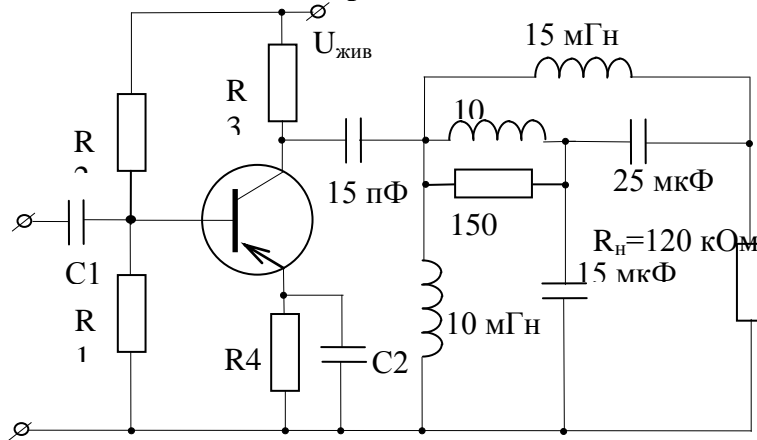
### Вариант 24



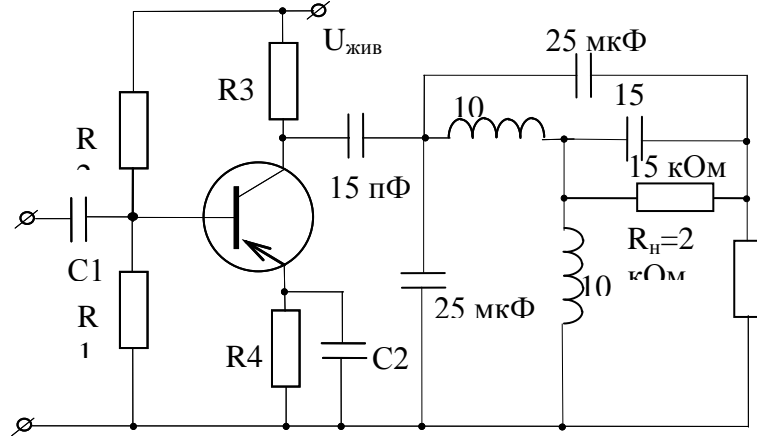
### Вариант 25



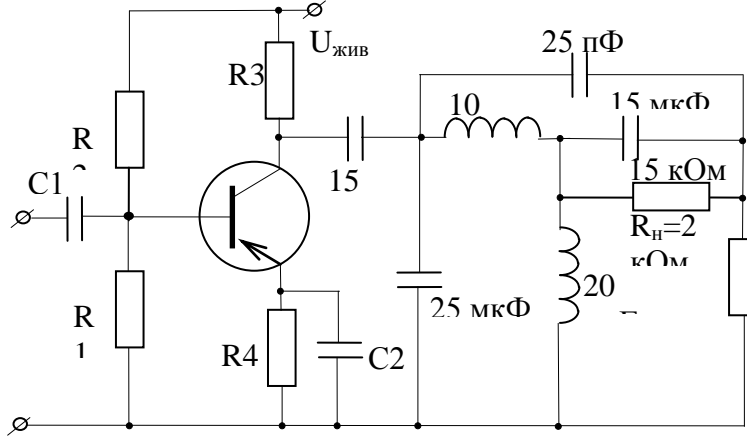
### Вариант 26



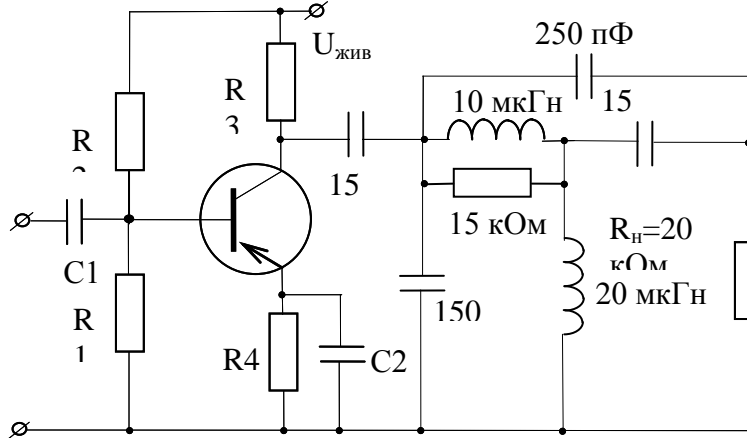
### Вариант 27



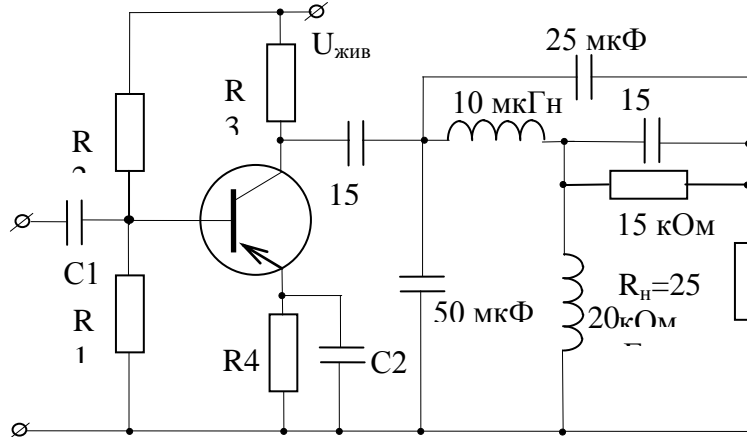
### Вариант 28



### Вариант 29



### Вариант 30



### **Контрольні запитання:**

1. Описати різновиди шарів, що використовуються при проектування печатних плат.
2. Як перейти від односторонньої до двохсторонньої печатної плати?
3. За якими критеріями вибирається товщина доріжки печатної плати?
4. Описати різновиди печатних плат.
5. Описати технологію отримання печатних плат.
6. В яких випадках потрібно застосовувати ручне, а в яких автоматизоване трасування плати.

### **Література.**

1. Разевиг В. Д. Система проектирования печатных плат ACCEL EDA 12.1 (P-CAD для Windows). -М.: СК Пресс, 1997. - 368с.
2. Разевиг В. Д. Система проектирования печатных плат ACCEL EDA 15 (P-CAD 2000). - М.:Солон-Р. - 2000. - 418с.
3. Разевиг В. Д. Система P-CAD 2000. Справочник команд. - М.: Горячая линия — Телеком, 2001. — 256с.
4. Стешенко В. Б. ACCEL EDA Технология проектирования печатных плат. - М.: Нолидж. - 507с.
5. Сучков Д. И. Проектирование печатных плат в САПР P-CAD 4.5, P-CAD 8.5 и ACCEL EDA. - М.: Малип, 1997. - 575с.
6. Уваров А. P-CAD 2000, ACCEL EDA. Конструирование печатных плат. Учебный курс. - СПб.:Питер, 2001. - 320с.
7. Поляков Ю. В. Новый бессеточный автотрассировщик для P-CAD 2000. EDA Express. 2000. Октябрь. №2. С. 2-7.

## Лабораторна робота № 4

# ПАЙКА ЯК МЕТОД З'ЄДНАННЯ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИБОРІВ

**Мета роботи:** ознайомлення з технологією пайки електронних компонентів і матеріалами, що використовуються для пайки та придбання практичних навичок лудіння і пайки.

### Короткі теоретичні відомості

**Монтаж** - установка виробу або його складових частин на місце використання.

**Електромонтаж** - виконання електричного з'єднання ЕРЕ (електрорадіоелементи) або його складових частин, що мають струмопровідні елементи.

У процесі електромонтажу при з'єднанні електричних ланцюгів або підключення до них електрорадіоелементів (транзисторів, ламп, резисторів, конденсаторів, реле, вимикачів, тумблерів, запобіжників тощо), для отримання контактного з'єднання найчастіше застосовують пайку.

**Пайка** – це технологічна операція, що застосовується для отримання нероз'ємного з'єднання деталей з різних матеріалів шляхом введення між цими деталями розплавленого матеріалу (припою), що має більш низьку температуру плавлення, ніж матеріал (матеріали) деталей, що з'єднуються. При цьому припій змочує деталі з'єднання, затікає в проміжок та заповнює його з подальшою кристалізацією створюючи міжатомні зв'язки.

**Лудіння** – утворення на поверхні матеріалу металевого шару шляхом плавлення припою, змочування припоєм поверхні з наступною його кристалізацією

**Припій** - матеріал для пайки і лудіння з температурою плавлення нижче температури плавлення паяних матеріалів.

**Sn63 Pb37.** Класичний олов'яно-свинцевий сплав для електроніки, що містить 63% олова та 37% свинцю. Придатний для ручного та автоматизованого монтажу, характеризується підвищеною міцністю пайки.

**Sn60 Pb38 Sn2.** Олов'яно-свинцевий сплав 60/38 з добавкою (присадкою) 2% міді, утворює паяні з'єднання на міді підвищеної надійності. Дуже прийнятний для експлуатації при мінусових температурах, для пайки мідних не залужених контактів та дрітків.

**Sn60Pb38Ag2.** Олов'яно-свинцевий сплав 60/38 із присадкою 2% срібла. Високочистий припій призначений для пайки посріблених, срібломістких та позолочених контактів, для пайки срібла на кераміці.

Головний недолік олов'яно-свинцевих припоїв - наявність токсичного свинцю.

### Безсвинцеві технології

27 січня 2003 введена в дію директива 2002/96/ЕС Європейського парламенту та Ради щодо відходів електричного й електронного обладнання (WEEE). Сучасна радіоелектронна промисловість встала перед фактом організації збору і видалення відходів, що мають у своєму складі важкі метали і вогнезахисні складові. Для успішного вирішення цієї проблеми однією з необхідних умов є перехід на безсвинцеві технології виготовлення електронного обладнання - технології із застосуванням матеріалів, які не містять свинець.



Із 1 січня 2006 року всі електротехнічні і електронні вироби, що поставляються в Європу не повинні мати свинцю та деяких інших шкідливих речовин.

Для електронної промисловості найбільш прийнятний припій для заміни традиційних сплавів Sn63 Pb 37 і Sn62 Pb36 Ag2 - Sn95 5Ag3Cu0,5, придатний для пайки оплавленням (тобто в пасті) і для пайки хвилею. Наявність міді перешкоджає утворенню інтерметалідів.

Припай Sn96,5 Ag3,5. Сплав, що має найвищу міцність серед безсвинцевих композицій, нетоксичний, використовується в електроніці й у медицині, а також при пайці виробів, що контактують з їжею. Придатний для пайки сталі.

Sn96,5 Ag3 Cu0,5. Найуніверсальніший безсвинцевий припай з відносно низькою температурою плавлення та поліпшеними характеристиками змочуванням.

Sn99 Си1. Сплав для ручної пайки та паяльних ванн (але має вищу температуру плавлення ніж Sn96,5 Ag3 Си0,5), є економічною альтернативою традиційним олов'яно-свинцевим припаям.

У табл. 1 наведені найбільш часто застосовувані при електромонтажу припої.

*Пайка можлива тільки в тому випадку, якщо припій змочує з'єднувані деталі.* Змочування являє собою молекулярну взаємодію рідини з поверхнею твердого тіла. Вона відбувається, якщо сили притягання між атомами припою і металу більше, ніж між атомами всередині самого припою. Якщо крапля припою не змочує поверхню, то вона має приблизно сферичну форму (рис. 1а). Сила зчеплення припою з поверхнею деталі в цьому випадку дуже мала, і крапля припою легко струшується, не залишаючи слідів на поверхні. При змочуванні крапля припою того ж обсягу має велику поверхню зчеплення з поверхнею деталі (рис.1б, в, г); сила її зчеплення значна, і припій не можна повністю видалити струшуванням.

Важливими властивостями припою є також розтікання і здатність затікати у вузькі проміжки під дією капілярних сил.

Затікання припою в проміжок - заповнення розплавленим припосом паяного проміжку.

При наявності забруднень на з'єднуваних поверхнях розтікання припою погіршується і можливе утворення не змочуваних зон, що знижує якість пайки.

Табл. 1

Найменування і марка припою	Температура плавлення, ° С	Область застосування
Олов'яно-свинцевий ПОС18	277	Пайка деталей невідповідального призначення із сталі, міді, латуні
Олов'яно-свинцевий ПОС40	235	Лудіння і паяння монтажних деталей, дрітків
Олов'яно-свинцевий ПОС61	190	Відповідальна електромонтажна пайка. Для вторинних пайок, розташованих поряд з пайками, виконаними більш тугоплавкими припоями
Олов'яно-свинцево-кадмієвий ПОСК50	145	Пайка і лудіння відповідальних з'єднань, що не допускають місцевого перегріву (деталі з кераміки, скла і т.д., покриті сріблом)
Сплав Розе (олово, свинець, вісмут)	94	Застосовується в тих випадках, коли потрібно зниження температури пайки через небезпеку перегріву деталей, а також для вторинних пайок
Сплав Вуда (олово, свинець, вісмут, кадмій)	60,5	

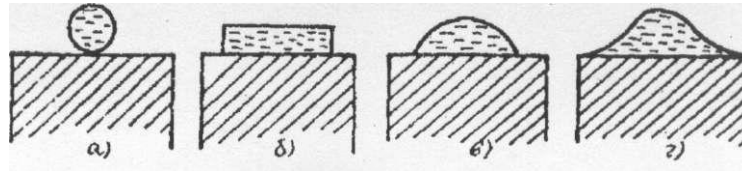


Рис. 1. Змочуваність поверхні металу: а) відсутність змочуваності; б) повне змочування; в) часткове змочування; г) гарне змочування

Підготовка поверхонь деталей, що підлягають пайці, полягає у видаленні забруднень, іржі, окисних і жирових плівок. На змочуваність і розтікання припою істотно впливає форма шорсткостей (неоднорідностей) поверхні. Якщо нерівності утворюють мережу пересічних канавок, то змочуваність і розтікання припою буде посилюватися капілярною дією канавок.

Таким чином, спосіб зачистки може вплинути на якість пайки. Зачистку з утворенням пересічних канавок отримують наждачною шкіркою (це дає кращий результат, ніж травлення).

Як правило, з'єднувані деталі перед пайкою піддаються лудінню. **Лудіння** полягає в покритті поверхонь деталей, що з'єднуються тонкою плівкою припою. Гаряче лудіння виконують паяльником або шляхом занурення у ванну з розплавленим припоєм розігрітої поверхні, що потрібно облудити.

При лудінні припій вкриває основний метал, тому при пайці луджених поверхонь з'єднання відбувається при більш низькій температурі.

Для усунення плівки окислів з поверхонь металів і припою при паянні, захисту поверхні металів і припою від окислення в процесі пайки та зменшення сил поверхневого натягу розплавленого припою на межі метал-припій служать спеціальні матеріали - **флюси**. Правильний вибір флюсу забезпечує якісне з'єднання і суттєво впливає на швидкість пайки. Обраний флюс повинен бути хімічно активний і розчиняти окисли паяних елементів, термічно стабільний і витримувати температуру пайки без випаровування і розкладання, проявляючи хімічну активність в заданому інтервалі температур.

Всі флюси можна розділити на чотири групи:

- активні або кислотні, застосування яких при електричному монтажі радіоелектронної апаратури заборонено;
- антикорозійні;
- безкислотні - на основі каніфолі. Ця група флюсів знайшла найбільш широке застосування при електричному монтажі. Залишки безкислотних флюсів легко видаляються спиртом. Такий флюс має низьку хімічну активність, тому вимагає особливо гарного очищення поверхонь, що з'єднуються, від окисних плівок перед паянням;
- активовані - на основі каніфолі, що мають у своєму складі різні каталізатори (речовини, що підвищують активність флюсу).

Підготовані поверхні вкривають флюсом безпосередньо перед гарячим лудінням або паянням.

Механізм дії флюсу (рис. 2) полягає в тому, що окисні плівки металу і припою під дією флюсу розчиняються, розрихлюються і спливають на його поверхні. Навколо очищеного металу утворюється захисний шар флюсу, що перешкоджає виникненню окисних плівок. Рідкий припій заміщає флюс і взаємодіє з основним металом. Шар припою поступово збільшується і при припиненні нагріву твердішає.

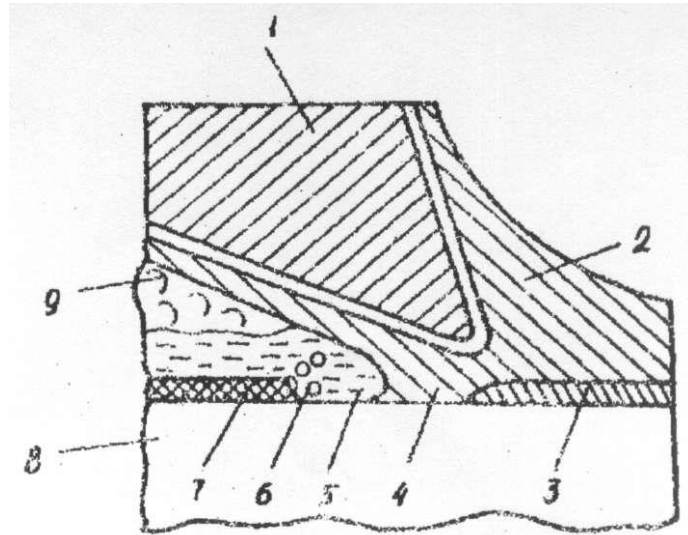


Рис. 2. Схема зони лудіння за допомогою паяльника 1 - наконечник паяльника, 2 - припій, 3 - сплав припою з основним металом, 4 - зона взаємодії припою з основним металом, 5 - флюс, 6 - розчинений окисел; 7 - окисел на поверхні основного металу; 8 - основний метал, 9 - газоподібний флюс.

Марки флюсів та області їх застосування наведені в табл. 2.

Табл. 2.

Тип флюсу	Марка	Склад	Область застосування
Кислотні	Хлористий цинк	Водний розчин хлористого цинку	Деталі з чорних і кольорових металів, що допускають промивку
Антикорозійні	ФІМ	Ортофосфорна кислота, спирт, вода	Деталі з чорних металів, міді та її сплавів, що допускають промивку в гарячій воді
	ВТС	Вазелін, триетаноламін, саліцилова кислота, спирт	Монтажні з'єднання, деталі з міді та її сплавів, срібла, платини
Безкислотні КЕ	Каніфоль	Каніфоль натуральна	Для пайки монтажних з'єднань, деталей з кольорових металів і їх сплавів
Активовані	КЄЦ	Каніфоль, хлористий цинк, спирт	Для пайки чорних, кольорових і дорогіших металів
	Паста № 4	Каніфоль, хлористий цинк, вазелін	Для з'єднань підвищеної міцності. Деталі з чорних і кольорових металів, що допускають ретельну промивку

Для поліпшення якості пайки і підвищення продуктивності праці при монтажі електричних кіл рекомендується застосовувати трубчастий припій з каніфольним наповнювачем. Форми перетину трубчастих припоїв показані на рис. 3. Припій являє собою трубку з олов'яно-свинцевого сплаву, усередині якої поміщений каніфольний флюс. Змінена

форма серцевини зменшує ймовірність утворення пустот в трубчастому припої і перерв в подачі флюсу в процесі пайки.



Рис. 3. Трубчастий припій з флюсом

Для пайки в одиничному і дрібносерійному виробництві застосовують паяльники. Два типи електричних паяльників представлені на рис. 4.

Для пайки монтажних з'єднань використовують електричні паяльники з нагрівальним елементом у вигляді спіралі або петлі з ніхромового дроту. Необхідну потужність паяльника вибирають залежно від маси і марки деталей, що з'єднуються.

При монтажі радіоелектронної апаратури припоєм ПОС40 застосовують паяльники потужністю 50, 75, 120 Вт з живленням від мережі змінного струму напругою не більше 36 В. Паяльники на 75 і 120 Вт використовують для пайки з'єднань зі значною масою металу (дроти великого перерізу, кабельні наконечники, корпусні пелюстки та ін.) Для пайки припоєм ПОС61 застосовується паяльник потужністю 35 Вт.

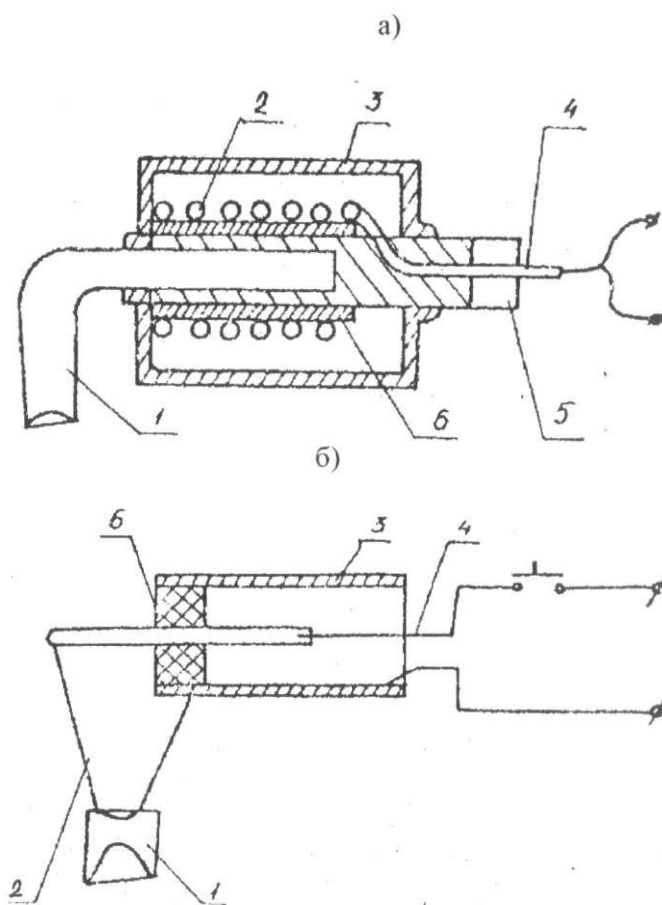


Рис. 4. Типи електричних паяльників: а) паяльник із зовнішнім обігрівом, б) імпульсний паяльник; 1 - мідний стрижень, 2 - нагрівач з ніхромового дроту, 3 - кожух, 4 - виводи, 5 - корпус, 6 - слюдяна або азбестова ізоляція; 7 - наконечник

За конструкцією електричні паяльники бувають трьох типів: молоткові, торцеві і Г-подібні. Всі вони мають суттєві недоліки: більшу втрату часу на розігрів жала, окислення жала, так як воно постійно підігріте, непродуктивна витрата електроенергії.

Від цих недоліків вільний імпульсний паяльник, жалом якого є V-подібний мідний теплопровід, що нагрівається петлею з ніхромового дроту протягом 0,5 – 2 с, з'єднаний з вторинною обмоткою понижуючого трансформатора. Конструктивно паяльник оформлений у вигляді пістолета, в кожусі якого знаходиться трансформатор. При натисканні на курок включається в мережу первинна обмотка трансформатора, а у вторинній обмотці індукується струм низької напруги в декілька сот ампер і паяльник нагрівається до необхідної температури.

При проведенні процесу пайки важливо витримувати необхідну температуру. Знижена призводить до недостатньої рідкотекучості припою і поганого змочування поверхонь, що з'єднуються. Значне збільшення температури викликає обвуглювання флюсу до активації їм поверхонь спаю. Оптимальна температура пайки  $T_{\text{п}}$  залежить від  $T_{\text{пл}}$ , (плавлення припою):

$$T_{\text{п}} = T_{\text{пл}} + (40 \div 80)^{\circ}\text{C}.$$

Залежно від теплоємності з'єднання вибирають потужність паяльника. При правильному підборі потужності падіння температури його робочого стрижня  $T_{\text{с}}$  не повинно бути більше  $20 \div 40^{\circ}\text{C}$ , тобто

$$T_{\text{с}} = T_{\text{п}} + (20 \div 40)^{\circ}\text{C}.$$

Для проведення високоякісної пайки температуру робочого стрижня паяльника необхідно контролювати і, при необхідності, регулювати. Для цього в промисловості застосовують паяльники з автоматичним регулятором температури або з автоматичною подачею припою.

*При правильно обраній температурі паяльника припій повинен швидко плавитися, але не стікати з робочої частини паяльника (жала), а каніфоль повинна не згоряти миттєво, а залишатися на жалі у вигляді киплячих крапельок.*

Якість монтажних з'єднань багато в чому залежить від правильності заточення жала паяльника. Найбільш зручною формою жала вважається чотиригранна. Поверхня повинна бути рівною, без раковин, очищеної від нагару і добре залуженою.

Пайка монтажних з'єднань повинна забезпечувати надійність електричного контакту і необхідну механічну міцність. Поверхня деталей, що підлягають паянню, перед монтажем треба піддати гарячому лудінню переважно припоєм, застосовуваним при паянні. Припій і флюс для пайки повинні вибиратися в залежності від матеріалів, які паяються, нагрівання елементів монтажу (температура регламентується виробником) і робочих температур. В якості основних слід застосовувати припої марок ПОС61 і ПОС61М. В якості основного флюсу - 30-відсотковий розчин каніфолі марок А і В у спирті, або кускову соснову каніфоль марки А і Б. Кількість флюсу, що наноситься на місце пайки - мінімальна. Рясне змочування флюсом неприпустимо. Час пайки і лудіння виводів електрорадіоелементів не повинен перевищувати величину, зазначену у технічних умовах пайки для елементів конкретних типів. При відсутності таких обмежень тривалість процесу пайки або лудіння не більше 5 с. Поверхню паяних з'єднань слід очищати тканиною з безворсового матеріалу (наприклад, бавовняною бяззю) або пензликом, змоченим спиртом або спирто-бензиновою сумішшю. Очищати паяні з'єднання треба після кожної пайки. У разі застосування спирто-бензинової суміші повинні бути вжиті заходи, що виключають можливість займання парів бензину.

## Опис матеріалів та інструментів

1. електропаяльник;
2. кусачки;
3. пінцет;
4. припій марки ПОС61;
5. каніфоль соснова кускова;
6. шліфувальна шкурка;
7. монтажний мідний дріт;
8. дроти з заліза, алюмінію, молібдену...
9. лупа або мікроскоп.

## Послідовність проведення роботи

1. Вивчити теоретичну частину лабораторної роботи.
2. В разі потреби провести операцію лудіння жала паяльника. (Розігріти паяльник, напилком придати потрібну форму жалю паяльника, при цьому зішліфувати окалину, а потім швидким рухом вмочити жало в каніфоль та в припій. Перевірити рівномірність покриття припоєм. В разі несучільного покриття попередні дії повторити).
3. За допомогою кусачок відрізати монтажний багатожильний мідний провід необхідної довжини та на його кінчику зняти приблизно 3 – 4 мм ізоляції.
4. В разі потреби зняти ножом окисли з провідників та залудити його. (Провід кладеться на каніфоль та притискається паяльником, щоб каніфоль розплавилась та покрила дроти проводу, далі така ж операція повторюється з припоєм. Потім залужений провід кладеться на рівну поверхню, його кінчик трохи прижимається паяльником. При цьому сам провід прокручується навколо осі, щоб його дроти рівномірно скрутились та ізоляція не деформувалась від перегріву.)
5. Аналогічні операції повторити з залізним, алюмінієвим та вольфрамовими провідниками.
6. Залужені провідники впаяти в макетницю, та спаяти, де це можливо, між собою.
7. Результати занести в таблицю 3.

Табл. 3

№	Матеріал	Результат, якість з'єднання, дефекти
1	Cu-Cu	
2	Fe-Cu	
3	Al-Cu	
4	W-Cu	
5	Fe-Fe	
6	Fe-Al	
7	Fe-W	
8	Al-Al	
9	Al-W	
10	W-W	

5. Розпаяти з'єднання на макетниці.
6. Провести випайку та впайку елементів з виданої друкованої плати.

7. В висновках до роботи дати опис отримання паяних з'єднань пар матеріалів та описати, якщо це можливо, методики проведення паяних з'єднань тих пар матеріалів, де отримати з'єднання не вдалося.

8. Оформити звіт про виконану роботу.

**Увага! Перед початком роботи кожен студент повинен мати протокол та бути теоретично підготовленим.**

### **Вимоги до звіту**

Звіт до лабораторної роботи повинен містити результати спаювання різних комбінацій металічних матеріалів відповідно до таблиці №3, яка повинна бути заповнена в процесі роботи. Пояснення дефектів, що виникли, і результатів спаювання. В висновках до роботи проводиться опис отримання паяних з'єднань пар матеріалів та описати, якщо це можливо, методики проведення паяних з'єднань тих пар матеріалів, де отримати з'єднання не вдалося.

**Увага! Табличні данні, розрахунки, рисунки графіків, осцилограм, висновки повинні бути представлені в рукописному вигляді, без використання комп'ютерної та розмножувальної техніки.**

### **Контрольні питання**

1. Що входить у поняття "електричний монтаж"?
2. Які фізичні явища лежать в основі процесу пайки?
3. Як якість і стан поверхонь з'єднуваних деталей впливає на якість паяного з'єднання?
4. Яке призначення флюсу? Які вимоги висуваються до флюсу для отримання якісного з'єднання?
5. Механізм дії флюсу.
6. У чому полягає технологічний процес лудіння? Яке його призначення?
7. Які типи електричних паяльників ви знаєте?
8. Для чого необхідно контролювати температуру пайки? Яким чином може здійснюватися цей контроль?
9. Яку величину складає допустимий час пайки і лудіння виводів електрорадіоелементів?
10. Яким чином можна визначити якість змочування поверхні припоєм?
11. Що забезпечує кращу підготовку поверхні до паяння: механічна очистка поверхні або хімічне травлення і чому?
12. У чому перевага імпульсного паяльника?
13. Які флюси застосовуються при електричному монтажі?
14. Що таке припій?
15. Які характеристики припою мають найбільше значення при паянні?
16. Що таке "трубчастий припій"? У чому його переваги?
17. Припій якої марки найбільш часто застосовується при електромонтажній пайці?
18. Як визначається необхідна температура нагріву паяльника?
19. Як визначається необхідна потужність паяльника?
20. Переваги та недоліки переходу до безсвинцевих припоїв.
21. Як впливає процентний вміст припою на його якість.
22. Дефекти паяного з'єднання. Що впливає на їх утворення?
23. Як впливає процентний вміст припою на його якість?

## Література

1. Государственный стандарт.союза ССР. Пайка и лужение. Основные термины и определения ГОСТ 17325—79. Издание официальное. Государственный комитет СССР по стандартам. Москва.
2. Хряпнин В.Е. Справочник паяльщика. М.: Машиностроение, 1981.
3. Справочник по пайке. Под. редакцией И.Е. Петрунина 3-е изд., переработ и доп. М.: Машиностроение, 2003. 480с; с ил.
4. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с. URL: [http://slil.ru/22574041/529407141/Konstruktorsko-tehnologicheskoe\\_proektirovanie\\_elektronnoj\\_apparatury.rar](http://slil.ru/22574041/529407141/Konstruktorsko-tehnologicheskoe_proektirovanie_elektronnoj_apparatury.rar)
5. Технология приборостроения: Учебник / Под общей редакцией проф. И.П.Бушминского. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. URL: <http://www.engineer.bmstu.ru/res/RL6/book1/book/metod/tpres.htm>
6. DIRECTIVE 2002/95/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. Official Journal of the European Union, 13.2.2003, L 37/19.
7. Smith, G.R. & J.I. Martinez (2003), Lead in December 2002. Mineral Industry Survey, United States Geological Survey <http://minerals.usgs.gov/minerals>.
8. JEDEC STANDARD Marking, Symbols, and Labels for Identification of Lead (Pb) Free Assemblies, Components, and Devices. JESD97 MAY 2004.
9. JOINT INDUSTRY STANDARD Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices. IPC/JEDEC J-STD-020C July 2004. [www.nemi.org/projects/ese/lf\\_assembly.html](http://www.nemi.org/projects/ese/lf_assembly.html)
10. “Napoleon's Buttons and Lead-free Soldering” Ronald C. Lasky, Lead-free Electronics Magazine November, 2004
11. Whisker Evaluation of Tin-Plated Logic Component Leads. Douglas W. Romm, Donald C. Abbott, Stu Grenney, and Muhammad Khan. Texas Instruments Application Report SZZA037A - February 2003
12. Lead Free Hand Soldering. Lee Whiteman. A publication of the National Electronics Manufacturing Center of Excellence. April 2005



### Дефекти паяних з'єднань

Якість паяних виробів визначається їх міцністю, надійністю, корозійною стійкістю, здатністю виконувати спеціальні функції (теплопровідність, електропровідність, комутаційні характеристики тощо). Забезпечення цих характеристик досягається оптимальними рішеннями в процесі виробництва паяного виробу. Дефекти, що виникають при виготовленні паяних виробів, можна розділити на дефекти заготовки і збірки, дефекти паяних з'єднань і паяних виробів.

До найбільш типових дефектів паяних з'єднань відносяться пори, раковини, шлакові і флюсові включення, непропаї, тріщини. Ці дефекти класифікують на дві групи: що пов'язані із заповненням проміжку розплавом припою між зпаяними деталями і що виникають у процесі охолодження виробу від температури пайки до температури навколишнього середовища. Дефекти першої групи пов'язані головним чином з особливостями заповнення капілярних проміжків в процесі пайки. Дефекти другої групи зумовлені зменшенням розчинності газів у металах при переході їх з рідкого стану в твердий та усадковими явищами. До них також належить пористість кристалізаційного і дифузійного походження. Крім пор до дефектів суцільності відносяться тріщини, які можуть виникати в металі шва, в зоні спаїв або в паяному металі. Велику групу дефектів становлять шлакові і флюсові включення.

Причиною утворення непропаїв, які беруть початок біля границі розділу з паяним металом, може бути неправильне конструювання паяного з'єднання (наявність «глухих», не маючих виходу порожнин), блокування рідким припоєм газу при наявності нерівномірного нагріву або нерівномірного проміжку, місцева відсутність змочування рідким припоєм поверхні паяного металу. Причиною появи блокованих залишків газу в швах може бути нерівномірність руху фронту рідини при затікання припою в проміжок. Фронт дробиться на ділянки прискореного й уповільненого просування, в результаті чого можуть відсікатися малі обсяги газу. Таким же чином може відбуватися захоплення флюсу і шлаків в шві. У процесі охолодження з'єднання через зменшення розчинності газів відбувається їх виділення та утворення розсіяної газової пористості. Досвід високотемпературної пайки алюмінієвих сплавів з попередньою дегазацією припоїв і флюсів показує, що пористість металу шва при цьому різко зменшується. Іншою вельми поширеною причиною утворення розсіяної пористості є виникнення так званої усадочної пористості. Це явище характерне для випадку затвердіння сплаву з широким інтервалом кристалізації. При малих проміжках усадочні міждендритні (дендрит від грецького δένδρον — «дерево») порожнини, як правило, тягнуться у вигляді ланцюжка в центральній частині шва. При великих проміжках усадочні пори розташовуються в шві більш рівномірно в міждендритному просторі.

Причиною утворення пор в паяних швах може бути ефект сфероїдизації. У цьому випадку пористість в зоні шва виникає в результаті некомпенсованої дифузії атомів припою і паяного металу. Такого роду пористість виникає в системах припій - паяний метал, у яких є помітна різниця в коефіцієнтах дифузії.

Тріщини в паяних швах можуть виникати під дією напруг і деформацій металу виробу в процесі охолодження. Прийнято розрізняти холодні і гарячі тріщини. Холодні тріщини утворюються при температурах до 200°C. Гарячими називаються тріщини, що утворюються при температурі вище 200°C. Ці тріщини зазвичай мають кристалізаційне або полігонізаційне походження. (Полігонізації – перебудова і впорядкування дислокаційної структури металів. Полігонізації призводить до утворення субзерених границь.) Якщо в процесі кристалізації швидкість охолодження висока і виникаючі напруги великі, а деформаційна здатність металу шва мала, то з'являються кристалізаційні тріщини. Полігонізаційні тріщини виникають вже при температурах нижче температури солідуса після затвердіння сплаву по так званим полігонізаційним кордонам, що утворюються при вибудовуванні дислокації в металі до рядів та утворенні сітки дислокацій під дією внутрішніх напружень. Холодні тріщини виникають

найчастіше в зоні спаїв, особливо в разі утворення прошарку тендітних інтерметалідів. Тріщини в паяному металі можуть з'явитися і в результаті впливу рідких припоїв, що викликають адсорбційне зниження міцності.

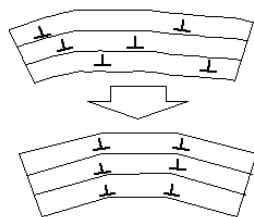


Рис. Схема трансформації дислокаційної структури при полігонізації

Неметалеві включення типу флюсових або шлакових виникають при недостатньо ретельній підготовці поверхні виробу до пайки або при порушенні її режиму. При дуже тривалому нагріванні під пайку флюс реагує з паяним металом з утворенням твердих залишків, які погано витісняються із проміжку припоєм. Шлакові включення можуть утворитися також через взаємодію припоїв і флюсів з киснем повітря або полум'ям пальника.

### Відсмоктувач

Відсмоктувач - пристрій для видалення припою. Являє собою вакуумний насос з наконечником для втягування розплавленого припою з оброблюваної поверхні. Зазвичай використовується для демонтажу електронних компонентів.

Найпростіші і найпоширеніші конструкції засновані на вакуумному насосі у вигляді підпружиненого поршня з фіксатором його положення в зведеному стані, з наконечником вхідного каналу у вигляді звуження. Як правило, наконечник змінний і виконаний з фторопласту. Принцип дії: припій на місці пайки розплавляють, підносять зведений відсмоктувач, натискають на спускову кнопку фіксатора, пружина виштовхує поршень, перепад тиску засмоктує припій всередину, звільняючи деталі на платі від припою.

У професійних конструкціях відсмоктувач обладнують спеціалізованим автоматизованим вакуумним насосом і регульованим по температурі наконечником для одночасного розплавлення і відсмоктування припою. У такій конструкції припій не застигає в каналі наконечника.

При демонтажі деталей з використанням відсмоктування, слід звертати увагу на розмір доріжок, що підходять до демонтованої деталі. При роботі з тонкими доріжками, використання відсмоктувача може привести до їх відшарування від плати. У таких випадку замість відсмоктувача доцільніше використовувати мідну обмотку коаксіального кабелю.

### Пайка хвилею припою

Пайка хвилею припою з'явилася 30 років тому і в даний час досить добре освоєна. Вона застосовується тільки для пайки компонентів в отворах плат (традиційна технологія), хоча деякі виробники стверджують, що з її допомогою можна проводити пайку поверхнево монтованих компонентів з нескладною конструкцією корпусів, що встановлюються на одній зі сторін комутаційної плати.

Процес пайки простий. Плата, встановлена на транспортері, піддається попередньому нагріванню, яке виключає тепловий удар на етапі пайки. Потім плата проходить над хвилею припою. Сама хвиля, її форма та динамічні характеристики є найбільш важливими параметрами устаткування для пайки. За допомогою сопла можна змінювати форму хвилі; в колишніх конструкціях установок для пайки застосовувалися симетричні хвилі. В даний час кожен

виробник використовує свою власну форму хвилі (у вигляді грецької літери "омега", Z-образну, T-образну та ін.). Напрямок та швидкість руху потоку припою, що досягає плати, також можуть змінюватись, але вони повинні бути однакові по всій ширині хвилі. Кут нахилу транспортера для плат теж регулюється. Деякі установки для пайки обладнуються дешунтуючим повітряним ножом, який забезпечує зменшення кількості перемичок припою. Ніж розташовується відразу ж за ділянкою проходження хвилі припою і включається в роботу, коли припій знаходиться ще в розплавленому стані на комутаційній платі. Вузкий потік нагрітого повітря, що рухається з високою швидкістю, несе із собою надлишки припою, тим самим руйнуючи перемички і сприяючи видаленню залишків припою.

Коли вперше з'явилися комутаційні плати, зі зворотного боку яких компоненти встановлювалися на поверхню, їх пайка проводилася хвилею припою. При цьому виникло безліч проблем, пов'язаних як з конструкцією плат, так і з особливостями процесу пайки, а саме: непропаї і відсутність галтелей припою через ефект затінення виводів компонента іншими компонентами, що перегороджують доступ хвилі припою до відповідних контактних площадок, а також наявність порожнин з захопленими газоподібними продуктами розкладання флюсу, що заважають дозуванню припою.

### **Паяльні станції**

Паяльна станція - електричний інструмент для паяння. До складу паяльної станції входить, крім спеціального паяльника, блок керування. Має в порівнянні зі звичайним паяльником розширеними можливостями: регулюванням і підтримкою заданої температури, захистом від перевантажень і статичної електрики, і, іноді, аксесуарами: підставкою для паяльника, відсмоктувачем для видалення зайвого припою з місця пайки, термофеном і т.д.

Паяльні станції поділяють за кількістю підключаємих паяльників на одно- і двоканальні. До складу двоканальної паяльної станції можуть входити монтажні і демонтажні паяльники з різними потужностями і робочими діапазонами температур.

Найчастіше спеціалізований паяльник у складі паяльної станції підтримує швидку зміну наконечника для паяння ("жала") при роботі з різними типами радіодеталей. Існують комбіновані паяльні станції, які включають до свого складу як паяльник, так і фен.

## Лабораторна робота № 5

### ПОБУДОВА СТАТИСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПАРАМЕТРА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИБАДУ

**Мета роботи:** Ознайомитися з методами обробки статистичних даних, які застосовуються в технології електронних приладів; вивчити статистичний розподіл напруги першого пробую двохелектродного газорозрядного проміжку; отримати навички роботи при виконанні статистичних розрахунків.

#### Поняття про напругу першого пробую газорозрядного приладу

Для газорозрядних приладів, що працюють як захисні розрядники і світлові індикатори, і включення яких відбувається досить рідко, одним з важливих параметрів є напруга першого пробую. За напругу пробую береться мінімальна напруга, при якій виникає самостійний газовий розряд в приладі. Величина напруги першого пробую визначається при включенні приладу після тривалого періоду відсутності в ній газового розряду, тобто при подачі на електроди напруги "вперше". При невеликій паузі між газовими розрядами напруга пробую декілька нижча, ніж напруга першого пробую. Це пояснюється тим, що після попереднього розряду в приладі залишається деяка кількість заряджених частинок, що ініціюють виникнення нового самостійного розряду. Чим менше пауза між розрядами, тим більше заряджених частинок залишилися в приладі і нижче напруга пробую. У межі напруга пробую знижується до напруги підтримки ("горіння") самостійного розряду.

У приладі з плоскою системою холодних електродів при середньому тиску газу (1-100 мм рт. ст.) умова виникнення самостійного розряду (умова пробую) математично виражається формулою:

$$\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт об'ємної іонізації газу електронами (перший коефіцієнт Таусенда), рівний числу пар іонів, утворених електроном на 1 см свого пробігу у напрямі електричного поля,  $\gamma$  - коефіцієнт вторинної іонно-електронної емісії катода (третій коефіцієнт Таусенда), рівний відношенню числа вторинних електронів, що виходять з катода, до іонів, що несуть на катод,  $d$  - міжелектродна відстань в см.

Додатковою умовою виникнення розряду між холодними електродами є наявність в міжелектродному проміжку хоч би одного електрона, що ініціює його. Електрони, що ініціюють розряд, утворюються під дією космічного і радіоактивного випромінювання або в результаті автоелектронної емісії з деталей приладу, залишаються після попередніх розрядів.

Об'ємна іонізація в газі, вторинна електронна емісія з катода, кількість електронів, що ініціюють, є випадковими величинами, тому існує вірогідність виникнення пробую при різній напрузі, що відрізняється від якоїсь середньої величини. Тобто напруга першого пробую окремо взятого приладу має деякий статистичний розкид.

Напруга першого пробую декількох приладів ще більше відрізнятиметься один від одного, оскільки приладам властивий технологічний розкид геометрії міжелектродного проміжку, тиску робочого газу, стану поверхні і матеріалу електродів.

На підставі викладеного можна зробити висновок про те, що напруга першого пробую характеризується статистичним розкидом, обумовленою дією фізичних і технологічних чинників.

При зміні напруги першого пробую треба дотримуватися обережності при реєстрації тієї мінімальної величини напруги, коли відбудеться пробій. Для цього напругу на прилад потрібно подавати плавно, поволі її підвищуючи, до моменту виникнення пробую. Пробій ініціюється по світловому спалаху або кидку струму у вимірювальному приладі. Дуже зручно

використовувати установки з автоматичною реєстрацією напруги пробою. Подібна установка використовується в даній лабораторній роботі.

### **Опис лабораторної установки**

До складу лабораторної установки входить напівавтомат вимірювання напруги запалення і цифровий вольтметр.

Напівавтомат вимірювання напруги запалення розряду у приладах, що випробовуються, містить генератор ступінчасто наростаючої напруги, індикатор, що показує номер ступеня вихідної напруги генератора і набір приладів, що випробовуються, в кількості 99 шт.

За прилади, що випробовуються, взяті двоелектродні індикаторні неонові лампи типу ІН-1.

На передній панелі напівавтомата розташований тумблер "Мережа", призначений для включення приладу. Поряд з тумблером розташована лампочка, що відображає подачу мережевої напруги на прилад.

Над мережевим тумблером розташований тумблер-перемикач роду роботи напівавтомата. У верхньому положенні тумблером "Ручн." на прилад, що випробовується, подається постійна напруга, але після натиснення кнопки "Пуск", яка розташована на панелі поряд з тумблером роду робіт, напруга на приладі збільшується на один ступінь. У нижньому положенні тумблера "Авт." напруга на прилад, що випробовується, після натиснення кнопки "Пуск" подається автоматично у вигляді послідовності ступенів. Тобто в автоматичному режимі роботи на прилад подається наростаюча напруга. Витримка часу на кожному ступені складає декілька секунд.

Поряд з тумблером перемикачем роду роботи розташована кнопка "Скидання", призначена для запуску системи автоматичного зниження напруги на приладі, що випробовується, до нуля.

На передній панелі також розташовані перемикачі вибору приладу, що випробовується. Прилади, що випробовуються, ІН-1 розташовані на панелі у вигляді матриці, поряд з перемикачем. Лівий перемикач перемикає стовпці матриці, а правий - перемикає рядки матриці. Нумерації рядків і стовпців матриці співпадають з нумерацією положення перемикачів. У положенні "0-0" до виходу генератора ступінчастої напруги прилад, що випробовується, не підключається. У даному положенні проводиться калібрування генератора.

На верхній частині передньої панелі розташовані індикатори, що вказують номер ступеня вихідної напруги генератора ступінчастої напруги. Всього генератор забезпечує отримання 25 ступенів. Перший ступінь - має номер "0" (умовний нуль).

Генератор ступінчастої напруги побудований на основі крокового шукача, до виводів якого підключений дільник напруги. Кроковий шукач управляється мультивібратором, що працює в автоколебальному режимі. Напруга на прилад, що випробовується, подається через баластний опір 20кОм, так що розрядний струм, після запалення розряду в ІН-1 складає декілька міліампер. Після запалення розряду (пробою даного проміжку приладу) ІН-1 починає світитися. Це легко спостерігати, оскільки торці приладів виходять на передню панель.

Особливістю використовуваного приладу - генератора ступінчастої напруги - є те, що після запалення розряду в ІН-1 процес автоматичного підвищення напруги на приладі припиняється. Для цього в схему генератора введений блокуючий пристрій, що спрацьовує при появі розрядного струму в ІН-1.

На задній панелі напівавтомата розташовано клема "Заземлення", мережевий запобіжник і роз'єм "Вольтметр" для підключення цифрового вольтметра. Для з'єднання цифрового вольтметра з напівавтоматом використовується спеціальний кабель. Кабель підключається до коаксіального гнізда "100 V" на задній панелі вольтметра.

### **Порядок виконання роботи**

1. Вивчити дану інструкцію.

2. За допомогою даної інструкції вивчити пристрій лабораторної установки. З'ясувати призначення елементів управління напівавтомата для вимірювання напруги запалення.
3. Перевірити наявність заземлення напівавтомата і цифрового вольтметра. Якщо останні не заземлені, то заземлити їх при допомозі лаборанта, що обслуговує учбову установку.
4. Мережеві тумблери напівавтомата і цифрового вольтметра поставити в положення - "Вимкнено".
5. Підключити до напівавтомата цифровий вольтметр. Для цього з'єднати спеціальним кабелем гніздо "Вольтметр" на задній панелі напівавтомата з входним гніздом цифрового вольтметра.
6. Підключити напівавтомат і цифровий вольтметр мережевими кабелями до мережевих розеток.
7. Підготувати цифровий вольтметр до вимірювань:
  - а) натиснути кнопку "Авт." перемикача вибору режим запуску вольтметра (при цьому вольтметр працюватиме в режимі автоматичного запуску).
  - б) вибрати межу вимірювання (при вольтметрі 100В дана межа підходить в найбільшій мірі, оскільки напруга запалення ІН-1 70-80В.)
  - в) ручку регулятора "Час індикації" поставити в крайнє ліве положення (до межі).
  - г) включити вольтметр перемкнутим тумблером "Мережа" у верхнє положення.
  - д) дати прогрітисся вольтметру на протязі 5 хв.
8. Провести калібрування напівавтомата.
  - а) включити тумблер "Мережа" в положення "Вкл.". При цьому повинна засвітитися індикаторна лампочка, розташована на панелі поряд з тумблером.
  - б) натиснути кнопку "Скидання". При цьому повинна засвітитися індикаторна лампа "0" показника номера ступеня генератора ступінчастої напруги.
  - в) поставити перемикачі "Стовпець" і "Рядок" в положення "0".
  - г) перемкнути тумблер вибору режиму напівавтомата в положення "Ручн."
  - д) періодично натискаючи кнопку "Пуск" провести вимірювання напруги на всіх ступенях генератора ступінчастої напруги.
9. Дані вимірювань записати в таблиці

№№ Ступені	0	1	2	...	23	24
Напруга, В						

10. Оскільки при подальших вимірюваннях робота цифрового вольтметра необов'язкова, його можна вимкнути перемиканням тумблера "Мережа" в нижнє положення.
11. Провести вимірювання напруги першого пробою (напруга запалення розряду при першій подачі напруги) приладів ІН-1.
  - а) натиснути кнопку "Скидання". При цьому повинен засвітитися індикатор "0" показника номера ступеня.
  - б) перемкнути тумблер вибору режиму роботи напівавтомата в нижнє положення "Авт."
  - в) перемкнути перемикач "Рядок" в положення "1" (перемикач "Стовпець" залишається в положенні "0"). Натиснути кнопку "Пуск". Після зупинки роботи генератора ступінчастої напруги (про це можна судити по припиненню акустичного шуму роботи генератора, зупинці показника номера ступеня і свіченні приладу, що випробовується) записати в протоколі напругу першого пробою.
  - г) натиснути кнопку "Скидання", при цьому повинен засвітитися індикатор "0" показника номера ступеня.
  - д) по черзі перемикаючи стовпці і рядки матриці за допомогою перемикачів "Стовпець" і "Рядок", визначити напругу пробою решти всіх приладів ІН-1. При цьому після кожного вимірювання не забувати натискати кнопку "Скидання". Перемикачі "Стовпець" і "Рядок" перемикають тільки при індикації "0" на показнику номера ступеня.

е) натиснути кнопку "Скидання", при цьому повинен засвітитися індикатор "0" показчика номера ступеня.

ж) результати вимірювань занести в таблицю 2.

№№ Ступені (проміжку)	0	1	2	...	23	24
Кількість приладів, в яких запалився розряд на даному ступені						

з) поставити перемикачі "Стовпець" і "Рядок" в положення "0". Натиснути на кнопку "Скидання". Тумблером "Мережа" вимкнути напівавтомат.

**Увага!** Для надійної роботи напівавтомата тривалість натиснення кнопки "Пуск" і "Скидання" повинні бути не менше 1 сек.

12. Обробка результатів вимірювань:

а) визначити величину інтервалів напруги, по якій розподілена напруга першого пробою ІН-1 по формулі:

$$\Delta U_i = U_i - U_{i-1}$$

де  $\Delta U_i$  - величина і-го інтервалу,  $U_i$  - напруга і-го ступеня напруги, генератора ступінчастої напруги,  $U_{i-1}$  - напруга і-1 ступеню. Для розрахунку використовувати дані табл. 1. Дані занести в табл. 3.

№№ інтервалу	0	1	2	...	23	24
$\Delta U_i$ , В						

б) побудувати на міліметрівці полігон розподілу приладів ІН-1 по напрузі першого пробою, використовуючи дані таблиць 2 і 3.

г) розрахувати середню арифметичну напругу першого пробою, медіану, моду, розмах, дисперсію і середньоквадратичне відхилення розподілу напруги першого пробою, ідентифікувати функцію розподілу за допомогою ЕОМ. Результати занести в протокол.

д) зробити висновки по роботі.

### Вимоги до звіту

Звіт повинен містити мету даної лабораторної роботи, розрахункові формули, експериментальні дані і розрахункові результати. Висновки по роботі.

### Контрольні питання

1. З якою метою проводиться статистичний аналіз технологічного процесу?
2. Поясніть, що означає поняття "полігон" і "гістограма".
3. Дайте визначення середньої арифметичної величини, медіани, моди.
4. Якими величинами характеризують розсіювання значень параметрів. Дати їм визначення.
5. Поясніть зміст параметра "напруга першого пробою". Які чинники впливають на нього?
6. Чому напруга першого пробою відрізняється від напруги другого, третього і ін. пробоїв?
7. Розкажіть про методику вимірювання напруги першого пробою. Що є статистична модель параметра приладу ІН-1?

## Література

1. Глудкін О. П., Обичкін Ю.Г., Блохін В. Р. "Статистичні методи в технології виробництва радіоелектронної апаратури." М.: Енергія, 1977г.
2. Глудкін О. П., Черняєв В.Н. "Аналіз і контроль технологічних процесів виробництва РЕА." М.: Вища школа, 1982г.
3. Лвовский Е.М. "Статистичні методи побудови емпіричних формул." М.: Вища школа, 1982г.

### Короткі відомості з математичної статистики.

#### Статистичний ряд і його характеристики.

Для організації статистичного контролю і аналізу технологічних процесів спочатку необхідно набрати достатню кількість статистичних даних по потрібним параметрам виробів. Як правило, ці дані є випадковими величинами, які можуть прийняти те або інше значення, причому невідоме заздалегідь.

Збір і обробка базуються на застосуванні так званого вибіркового методу.

Вибіркою називається частина виробів, відібраних із загальної їх сукупності для отримання інформації про всю масу виробів, званою загальною або генеральною сукупністю. Якщо вибірка досить добре представляє відповідні характеристики генеральної сукупності, то таку вибірку називають представницькою або репрезентативною.

Значення параметрів виробів у вибірці є первинним статистичним матеріалом, що підлягає обробці, осмисленню і науковому аналізу. Така однорідна сукупність значень параметра, називається "простою статистичною сукупністю" або "простим статистичним рядом". Зазвичай проста статистична сукупність оформляється у вигляді таблиці з одним входом, в першому стовпці якого стоїть номер досліду, а в другому - заміряне значення параметра.

Якщо розташувати заміряні значення параметрів в зростаючому або убуючому порядку, то вийде так званий впорядкований (ранжируваний) ряд або впорядкований розподіл різних значень одного і того ж параметра якості.

Для групувань однакових значень параметра статистичний матеріал повинен бути підданий додатковій обробці - будується так званий "статистичний ряд".

Припустимо, що в нашому розпорядженні результати спостережень над випадковою величиною  $X$  оформлені у вигляді простої статистичної сукупності, причому окремі значення повторюються деяке число разів. Тоді одні і ті ж значення випадкової величини об'єднаємо в число випадків для кожного значення (з тих, що повторюються), позначимо через  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_i$ , де  $m_i$  зазвичай називають абсолютною частотою або статистичною вагою.

Побудуємо таблицю (табл. 1.1), в якій приведені значення параметра в ранжированому порядку і відповідні частоти.

Статистичний ряд випадкових величин. Таблиця 1.1

$X$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	...	$x_i$	...	$x_k$
$m$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	...	$m_i$	...	$m_k$

Таблиця для безперервного розподілу будується аналогічно випадку дискретного розподілу параметра, де замість дискретних значень величини  $X$  приводяться інтервали в порядку їх зростання уздовж осі абсцис і відповідні ним частоти (табл. 1.2)

$X$	$x_1;x_2$	$x_2;x_3$	$x_3;x_4$	...	$x_i;x_{i+1}$	...	$x_k;x_{k+1}$
-----	-----------	-----------	-----------	-----	---------------	-----	---------------



M	m1	m2	m3	...	mi	...	mk
---	----	----	----	-----	----	-----	----

Тут  $X$  - позначення  $i$  - того інтервалу;  $x_i, x_{i+1}$  - його межі;  $m_i$  - відповідна частота;  $k$  - число інтервалів.

Часто за величину на інтервалі приймають його центральне значення.

Якщо значення випадкової величини знаходиться точно на межі двох інтервалів, можна вважати (чисто умовно) дане значення таким, що належить в рівній мірі обом інтервалам і додавати до чисел  $m_i$ -го і іншого інтервалу по  $1/2$ .

Число інтервалів, на які слід групувати статистичний матеріал, не повинне бути дуже великим (тоді ряд розподілу стає невиразним, і частоти в ньому виявляють незакономірні коливання); з іншого боку, воно не повинне бути дуже малим (при малому числі інтервалів властивості розподілу описуються статистичним рядом дуже грубо).

Довжини інтервалів можуть бути як однаковими, так і різними. Простіше, зрозуміло, брати їх однаковими. В цьому випадку довжина інтервалу підраховується по формулі:

$$x_i; x_{i+1} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k} \quad (1.1)$$

де  $k$  - вибране число інтервалів.

При формуванні даних про випадкові величини, розподілені у край нерівномірно, зручніше вибирати в області найбільшої щільності розподілу інтервали вужчі, ніж в області малої щільності. У разі неоднакової довжини інтервалів зручніше користуватися не абсолютною величиною  $m_i$ , а відносною величиною, рівною відношенню частоти  $m_i$ , що доводиться на  $i$ -тий інтервал або  $i$ -те значення параметра до загального числа спостережень  $n$

$$W_i = \frac{m_i}{n} \quad (1.2)$$

Ця відносна величина називається частістю.

Не важко відмітити, що сума частот всіх інтервалів рівна одиниці.

Статистичний ряд часто оформляється у вигляді кривих розподілу випадкової величини  $X$ . Найбільш поширеними зображеннями статистичного ряду є зображення його у вигляді полігону і гістограми.

Полігон розподілу будується в прямокутній системі координат. По осі абсцис відкладаються значення параметра якості, а по осі ординат - відповідні ним частоти (або частоті). Найчастіше полігони застосовуються для дискретних змін значень параметра, але можуть бути застосовані і для безперервних (інтервальних) змін. В цьому випадку з середини інтервалу, відкладеного по осі абсцис, відновлюється перпендикуляр, висота якого пропорційна частоті (або частоті) даного інтервалу. Вершини ординат з'єднуються прямими лініями. Для замикавання крайні ординати з'єднуються з довколишньою серединою інтервалу, в якій частота (або частість) рівна нулю.

Приклад зображення статистичного ряду у вигляді полігону приведений на мал. 1.1.

Гістограма будується аналогічно полігону в прямокутній системі координат. Відмінність гістограми від полігону полягає в тому, що на осі абсцис беруться не крапки, а відрізки, що зображають інтервал, і на кожному з інтервалів будуються прямокутники, висота яких пропорційна відповідним частотам.

Розбиваючи інтервали на декілька частин і виходячи з того, що вся площа гістограми залишається незмінною, можна отримати багатоступеневу гістограму, яка в межі (за рахунок зменшення довжини інтервалу) перейде в плавну криву, звану кривою розподілу. Приклад зображення статистичного ряду у вигляді гістограми приведений на мал. 1.2



Рис. 1.1 Изображение статистического ряда в виде полигона.

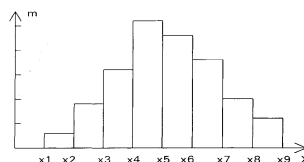


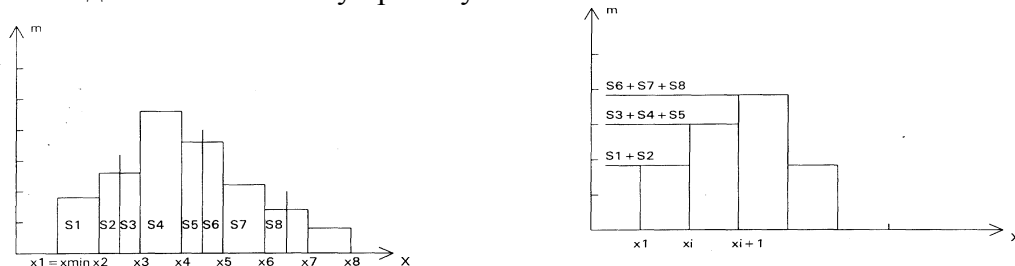
Рис. 1.2. Изображение статистического ряда в виде гистограммы.

У разі нерівних по довжині інтервалів для побудови гістограми потрібно частоту кожного інтервалу розділити на його довжину і отримане число взяти за висоту прямокутника. Площі прямокутників у такому разі будуть рівні частотам відповідних інтервалів і потім можна перейти до гістограми з рівними по довжині інтервалами (таку гістограму використовують при перевірці правильності гіпотези нормальності розподілу). В цьому випадку довжина інтервалу підраховується по формулі

$$x_i; x_{i+1} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}$$

де  $k$  - вибране число інтервалів.

Площа прямокутника (або сума площ) між ними і буде рівна частоті нового інтервалу і її необхідно взяти за висоту прямокутника.



Часто буває зручно представляти статистичний ряд не графічно, а характеризувати його окремими числовими параметрами, які до деякої міри відображають істотні риси статистичного ряду.

Як одну з найважливіших характеристик статистичного ряду значень якого-небудь параметра застосовують середню величину цього параметра, біля якого групуються всі можливі значення даного параметра.

### Середня арифметична.

У разі статистичного ряду, коли значенню параметра відповідає якась частота, середня арифметична має вигляд:

$$\bar{X} = \frac{x_1 \cdot m_1 + x_2 \cdot m_2 + \dots + x_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

її називають середньозваженою.

У разі  $m_i=1$  (коли кожне значення параметра зустрічається тільки 1 раз) середня арифметична підраховується по формулі:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Медіаною випадкової величини  $X$  називають таке її значення  $M_e$ , яке доводиться на середину впорядкованого ряду. Таким чином, медіана - це значення параметра, яке ділить впорядкований ряд на дві рівні за об'ємом групи. Якщо у впорядкованому ряду  $2i+1$  випадків, то значення параметра у разі  $i+1$  буде медіанним. Якщо в ряду парне число  $2i$  випадків, то медіана рівна середньою арифметичною з двох значень.

Таким чином, формули для числення медіани мають наступний вигляд:

$$M_e = x_{i+1}$$

- для випадку непарного числа спостережень значень параметра;

$$M_e = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}$$

- для випадку парного числа.

Приклад 1. Заміряно дев'ять значень параметра **X**, розташованих в зростаючому порядку:  
x1=8 x2=9 x3=11 x4=12 x5=15 x6=16 x7=18 x8=19 x9=21

В даному випадку маємо непарне число дослідів.

Знаходимо медіану:  $2i+1=9$ ,  $2i=8$ ,  $i=4$

По формулі отримуємо:  $M_e = x_i = x_5 = 15$

Приклад 2. Заміряно 12 значень параметра **X**:

x1=6 x2=9 x3=11 x4=12 x5=15 x6=16 x7=18 x8=19 x9=21 x10=23 x11=24 x12=26

Маємо парне число дослідів:  $2i=12$ ,  $i=6$

По формулі визначимо значення медіани:

$$M_e = \frac{x_i + x_{i+1}}{2} = \frac{x_6 + x_7}{2} = 17$$

У разі безперервного розподілу випадкової величини значення медіани порівняно легко визначається графічним шляхом. Геометрично медіана - це абсциса точки, перпендикуляр, відновлений з якої ділить площу, обмежену кривою розподілу, навпіл.

Моду випадкової величини називається те значення параметра, яке найчастіше зустрічається в даному ряду. Умовимося позначати моду через  $M_0$ . Для дискретного ряду мода визначається по частотах значень параметра і відповідає значенню параметра з найбільшою частотою.

У разі безперервного розподілу з рівними інтервалами (т.е. що містить моду  $M_0$ ) визначається по найбільшій частоті.

У разі ж безперервних інтервалів модальний інтервал визначається по найбільшій щільності. Щільність обчислюється як відношення частоти до тривалості інтервалу. В цьому випадку ми маємо абсолютну щільність розподілу:

$$f_A(X) = \frac{m_i}{x_i; x_{i+1}}$$

У разі відношення частоти до інтервалу ми маємо відносну щільність розподілу:

$$f_{omh}(X) = \frac{W_i}{x_i; x_{i+1}}$$

На практиці доводиться зустрічатися з симетричним рядом. Особливістю симетричних рядів є рівність трьох характеристик - середньою арифметичною, моди і медіани:

$$\bar{X} = M_0 = M_e$$

Середні величини, характеризуючи однорідну сукупність одним числом, не враховують розсіювання значень параметра. Для відображення розсіювання параметра в математичній статистиці застосовують ряд характеристик. Найпростішою характеристикою розсіювання є розмах (R). Розмах є величиною не стійкою, залежною від випадкових обставин і тому вживану, як правило, як приблизна оцінка розсіювання. Формула для обчислення розмаху має наступний вигляд:

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

Найчастіше застосовується і в теорії, і на практиці в якості міри коливання значень параметра в статистичному ряду середній квадрат відхилення ( $S^2$ ), який називається вибірковою дисперсією.

Незважену дисперсію обчислюють за формулою:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

За наявності відповідних частот дисперсія обчислюється за формулою дисперсії зваженої:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i - 1}$$

Як видно з формули, дисперсія випадкової величини має розмірність випадкової величини. Для наочної характеристики зручніше користуватися величиною, розмірність якої співпадає з розмірністю випадкової величини.

Якщо узяти квадратний корінь з дисперсії, то ми вже матимемо справу з вибіркоvim значенням середньоквадратичного відхилення (S), яке називається також стандартним відхиленням.

Середнє квадратичне відхилення зважене і незважене має відповідно наступний вигляд:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i - 1}}$$

Враховуючи, що середнє лінійне відхилення і середнє квадратичне відхилення є абсолютні величини, виражені в тих же одиницях вимірювання, що і значення параметра, для характеристики коливання використовують коефіцієнт варіації (V).

Коефіцієнт варіації по середньому квадратичному відхиленню є відношенням середньоквадратичного відхилення до середнього арифметичного значення випадкової величини, виражене у відсотках (або в долях одиниці);

$$V_s = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100\%$$

### **Перевірка нормальності статистичного ряду**

Для статистичних методів побудови емпіричних залежностей дуже важливо, щоб результати спостережень підкорялися нормальному закону розподілу - основний зміст попередньої обробки результатів спостережень.

Для не дуже великих вибірок ( $n < 120$ ) існує декілька методик перевірки нормальності розподілу. Приведемо деякі з них.

#### **По середньому абсолютному відхиленню**

Необхідно обчислити середнє абсолютне відхилення за формулою:

$$CAO = \frac{\sum |x_i - \bar{X}|}{n}$$

Для вибірки, що має приблизно нормальний закон розподілу, повинен бути справедливий вираз:

$$\left| \frac{CAO}{S} - 0,7979 \right| < \frac{0,4}{\sqrt{n}}$$

#### По розмаху варіювання

Швидко перевірку гіпотези нормальності розподілу для порівняно широкого класу вибірок  $3 < n < 1000$  можна виконати, використовуючи розмах варіювання R.

Підраховують відношення R/S і зіставляють з критичними верхніми і нижніми межами цього відношення, приведеними в таблиці [1]. Якщо R/S менше нижньої або більше верхньої межі, то нормального розподілу немає. Особливо важливо, щоб ця умова дотримувалася при  $p = 0,10$  (10%-ий рівень значимості). При  $n = 99$  і  $p = 0,1$  нижня і верхня межі відповідно рівні 4,43 і 5,67.

#### **За показниками асиметрії і ексцесу**

Показник асиметрії можна визначити по формулі:

$$g_1 = \frac{m_3}{m_2^{3/2}}$$

Для симетричних розподілів  $g_1 = 0$  і  $m_3 = 0$ . Для нормального розподілу  $m_4/m_2^2 = 3$

Для зручності порівняння емпіричного розподілу і нормального як показник ексцесу приймають величину

$$g_1 = \frac{m_3}{m_2^{3/2}} - 3$$

$$m_2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2$$

$$m_3 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3$$

$$m_4 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4$$

Знаходять незміщені оцінки для показників асиметрії і ексцесу:

$$G_1 = \frac{\sqrt{n-1}}{n-2} \cdot g_1$$

$$G_2 = \frac{n-1}{(n-2) \cdot (n-3)} [(n+1) \cdot g_2 + 6]$$

Визначають також середньоквадратичне відхилення

$$S_{G1} = \sqrt{\frac{6n \cdot (n-1)}{(n+1) \cdot (n-2) \cdot (n+3)}}$$

$$S_{G2} = \sqrt{\frac{24n \cdot (n-1)^2}{(n-3) \cdot (n-2) \cdot (n+3) \cdot (n+5)}}$$

Якщо виконуються умови

$$|G_1| \leq 3S_{G1} \text{ і } |G_1| \leq 5S_{G2},$$

то гіпотеза нормальності досліджуваного розподілу може бути прийнята.

### По $\chi^2$ критерію

Застосування  $\chi$  критерію припускає також використання властивостей так званого стандартного нормального розподілу. Рівняння кривої стандартного нормального розподілу має вигляд:

$$y = f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-z^2/2} \approx 0,4 \cdot e^{-z^2/2}$$

де

$$z = \frac{(x - \mu)}{\sigma}$$

Значення ординат кривої стандартного нормального розподілу протабульовані і приведені в таблиці.

Методика перевірки гіпотези нормальності розподілу по К-С критерію наступна.

Розбивають масив початкових даних на класи:

$$k = 1 + 3,32 \cdot \ln n$$

Визначають середини класів  $X$

Підраховують частоти для всіх класів  $B$

Обчислюють для всіх класів  $Bx$  і  $Bx^2$

Знаходять  $\bar{X}$  і  $\bar{S}$

$$\bar{X} = \frac{\sum Bx}{n}$$

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\sum Bx^2 - \frac{(\sum Bx)^2}{n}}{n-1}}$$

Обчислюють:

$$k' = \frac{n \cdot b}{\bar{S}}$$

Визначають:

$$z = \frac{(x - \bar{X})}{\bar{S}}$$

Формують за допомогою таблиці вектор стовпець  $f(z)$

Обчислюють для всіх класів

$$E = f(z) \cdot k'; B - E; (B - E)^2$$

Обчислюють  $\chi^2$  по формулі

$$\chi^2 = \frac{\sum (B - E)^2}{E}$$

Перевіряють використовуючи таблицю умови

$$\chi^2 < \chi^2_{(v,p)}$$

$v = n_{kl} - 1 - 2$ ;  $p = 0,1$  (гіпотеза нормальності приймається на 10% рівня),  $n_{kl}$  число класів (інтервалів).

### По критерію Колмогорова-Смирнова (К-С критерію)

Обчислюють накопичені частоти  $F_B$  і  $F_E$ , використовуючи частоти  $B$  і  $E$

Приклад:

$B=$	5	13	15	14	5
$F_B=$	5	18	33	47	52
$F_E=$	$B_1$	$B_1+B_2$	і т.д.		

Знаходять

$$\bar{D} = \frac{\max |F_B - F_E|}{n}$$

Перевіряють за допомогою таблиці умови  $\bar{D} < D_{tabl}(n; 0,1)$

## Лабораторна робота № 6

### СТВОРЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ МОДЕЛІ НЕОНОВОЇ ЛАМПИ ТН-0,2 В ПРОГРАМІ AUTOCAD 2002.

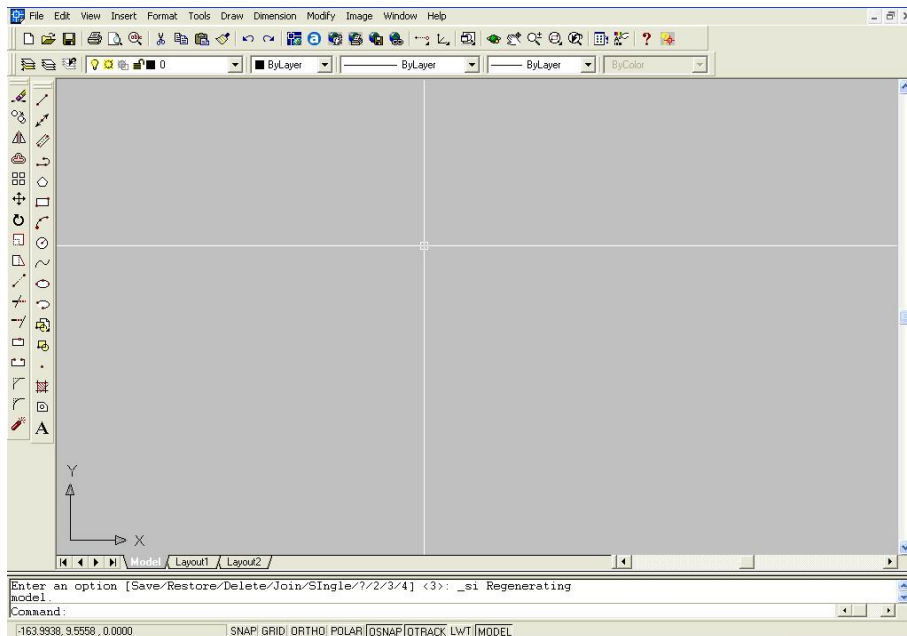
**Мета роботи:** ознайомитись з програмою AUTOCAD 2002 та набутти навиків роботи з нею. Навчитись будувати за допомогою програми будувати тривимірні моделі об'єктів.

#### Виконання роботи

Заходимо в теку Acad і завантажуюмо файл acad.exe.

Завантажується вікно програми Автокад (Acad). У верхній частині вікна знаходиться назва програми і ім'я файлу відкритого за умовчанням Drawing1.dwg. Розглянемо вікно Автокад зверху вниз. Нижче розташовані випадаючі меню: File, Edit, View і т.д. Під рядком з випадаючими меню знаходяться панелі інструментів. Стандартно завантажуються Standard Toolbar, Object properties, Draw і Modify. Натисненням правої клавіші миші (ПКМ) на будь-якій панелі інструментів викликається випадаюче меню, в якому розташована решта всіх панелей інструментів (ПІ). Після натиснення лівої кнопки миші (ЛКМ) на необхідній нам ПІ (вона відмічається галочкою в випадаючому меню), ця ПІ з'являється у вікні Автокада.

Далі розташована графічна зона (ГЗ) Автокада, в якій відбувається створення креслень. Справа і знизу ГЗ розташовані смуги прокрутки, а також знизу зліва є закладки (Model, Layout1) і кнопки управління закладками. Під ГЗ знаходиться область командного рядка в якій Автокад веде діалог з користувачем. Нижче рядок стану – режими SNAP, GRID, ORTHO і т.д. Зліва від рядка стану фіксуються координати поточного положення курсору.

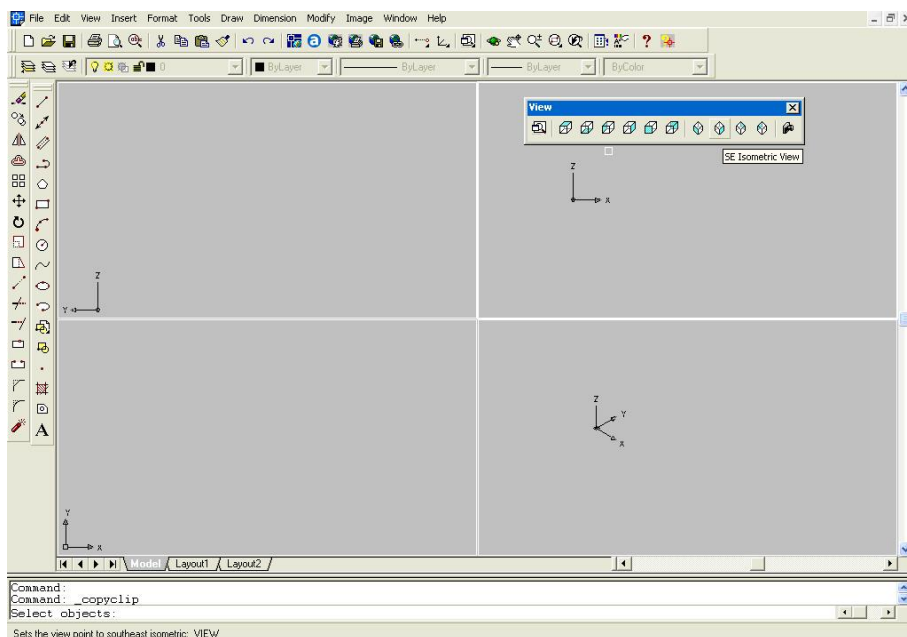


Меню Options можна викликати натисненням ПКМ в командному рядку (КР). У цьому меню настраюються параметри інтерфейсу і середовища малювання, зовнішній вигляд елементів вікон Автокада, проміжок автоматичного збереження файлу і т.д.

Оскільки наша модель об'ємна (3-х мірна), то для зручності її побудови зробимо декілька видів, наприклад чотири (тобто розділимо ГЗ на 4 частини, в кожній з яких можна встановити свою точку зору на нашу модель). Це можна зробити, вибравши в випадаючому меню View



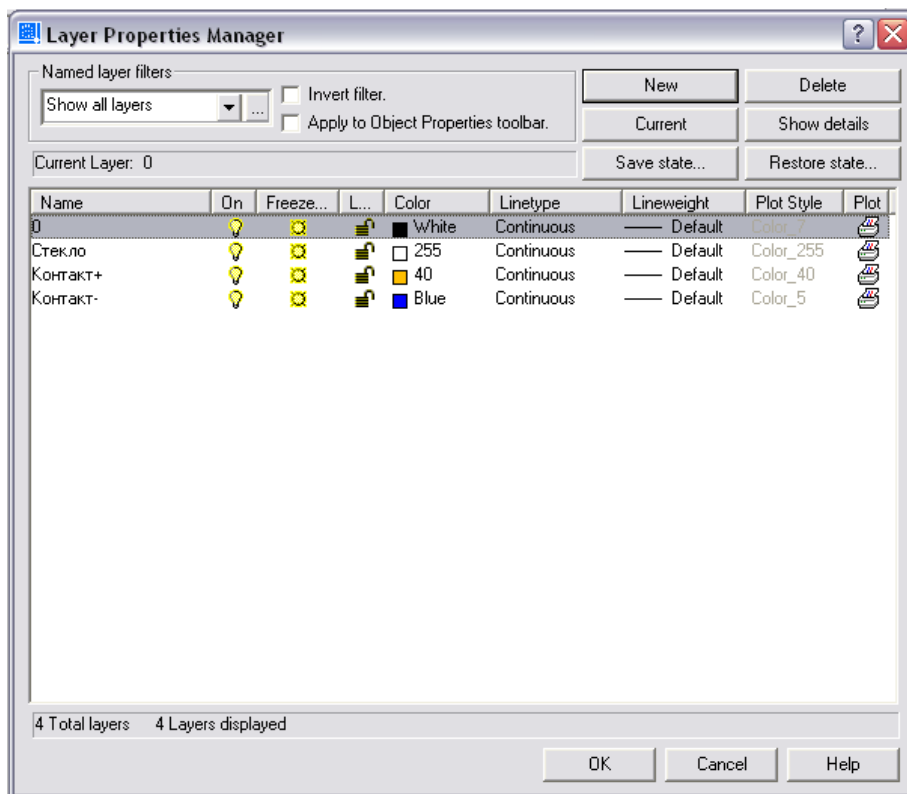
команду Viewports і далі необхідне нам кількість точок зору (ТЗ). Далі викликавши ПП View, вибираємо для кожного виду (раніше зробивши його активним натисненням ЛКМ) необхідну нам ТЗ. Виберемо для лівого верхнього виду ТЗ зліва, правого верхнього – спереду, лівого нижнього – зверху, правого нижнього – справа збоку (об'ємна ТЗ)



Щоб ПП View надалі нам не заважала при моделюванні, її можна перемістити в будь-яке місце ГЗ (затиснувши ЛКМ на назві ПП і переміщаючи її за допомогою миші) або просто закрити, повторивши процедуру, виконану для її виклику.

Подивитися настройки системи координат або створити нову, можна викликавши випадаюче меню Tools, вибравши команди в яких присутнє скорочення UCS (Призначена для користувача Система Координат).

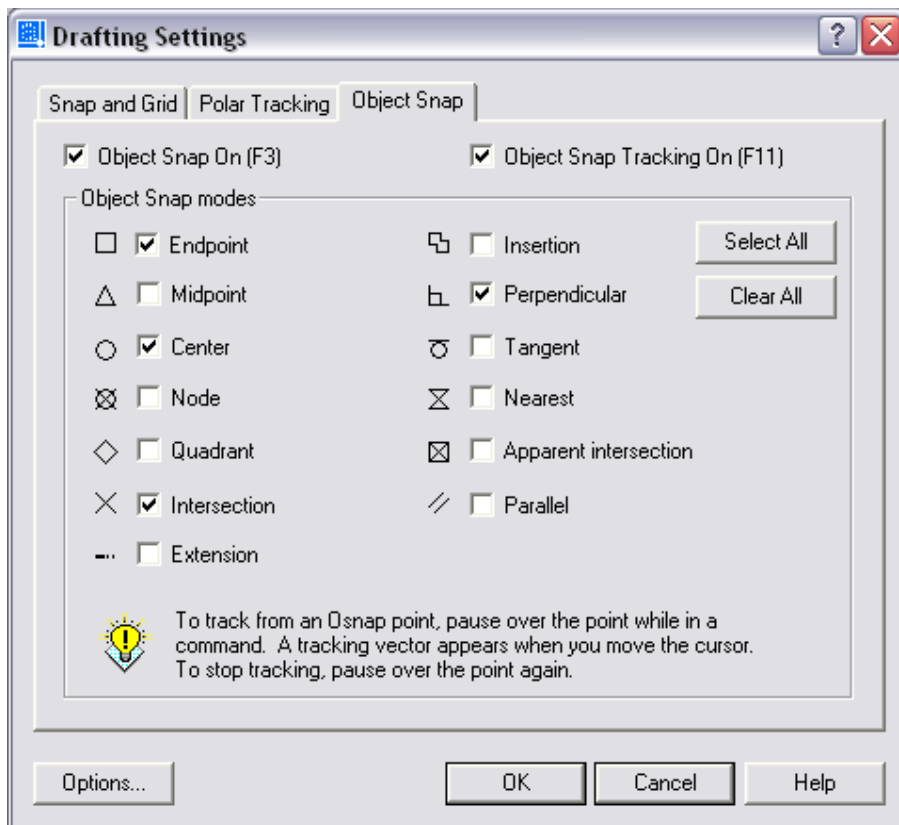
Тепер займемося настройкою шарів. Команди для роботи з шарами знаходяться на ПП Object properties. Натиснувши ЛКМ на іконі Layers, увійдемо до меню шарів. Тут можна створювати нові шари, задаючи їх властивості: ввімкнений/вимкнений, розморожений/заморожений, розблокований/заблокований, колір шару, тип ліній шару, вагу ліній шару (товщина), стиль викреслювання шару, викреслювати/не викреслювати шар. Також тут показані вже існуючі шари (поки він тільки один під назвою 0 (нуль)). Створимо 3 шари і назвемо їх Скло, Контакт+, Контакт- (зробимо шари різних кольорів). Виділивши назву шару, і натиснувши кнопку Current, ми робимо шар поточним, тобто таким в якому зараз працюватиме.



Для того, щоб точно виконати креслення в Автокаді необхідно користуватися об'єктними прив'язками (характерними точками на примітивах Автокада). Викличемо ПІ Object Snap натисненням ПКМ на будь-якій з вже присутніх ПІ і ЛКМ на Object Snap. На цій ПІ символічно показані об'єктні прив'язки (ОП). ОП не є командою – це режим, який працює під час виконання якої-небудь команди.






Постійні прив'язки можна активувати, натиснувши кнопку OSNAP в рядку стани, які діятимуть до тих пір, поки включений цей режим. Щоб налаштувати параметри цих прив'язок натиснемо ПКМ на OSNAP і вибираємо Settings (таким же чином можна налаштувати параметри решти режимів (кнопок) в рядку стану). Тут представлені всі ОП, які є в Автокаді. Включити прив'язку, можна поставивши галочку напроти її назви.



Зробивши попередні настройки для зручнішої роботи з Автокадом, приступимо до створення об'ємної моделі неонові лампи.

Спершу намалюємо осі для нашого об'єкту в нульовому шарі (шар 0 - поточний). Побудуємо лінію паралельну ОСІ Y. ЛКМ виберемо об'ємний вигляд (права нижня ГЗ) і в ПП


Draw виберемо команду Line (вона зображена у вигляді іконки ). Побудуємо відрізок по координатах: для цього після натиснення іконки Line введемо координати першої точки відрізка в командному рядку (КР) 100,0,100 (X = 100, Y = 0, Z = 100). Для виконання (підтвердження) команди необхідно натиснути клавішу Enter на клавіатурі. Виконання будь-якої команди вимагає підтвердження. Зверніть увагу, що координати в Автокаді розділяються комами, а дробова частина числа від цілої – точкою. Введемо координату другої точки - (100,150,100) і отримаємо відрізок в 3-х мірному просторі. Далі Автокад нас питає координати наступної точки. Введемо (100,250,100) і отримаємо два відрізки, які дотикаються в одній крапці і є продовженням один другого. Щоб закінчити побудову лінії напишемо букву «u» (Undo) в КР або натиснемо ПКМ в ГЗ, викличемо випадаюче меню, і виберемо ЛКМ Cancel або Undo. Також всі команди з ПП Draw і інших команд для створення примітивів в Автокаді є в випадаючому меню Draw.

Для збільшення і зменшення екранного зображення креслення і переміщення по кресленню використовують команди Zoom Realtime  і Pan Realtime  відповідно. Використання миші з колесиком дає збільшення продуктивності при створенні креслень.

Тепер побудуємо лінію паралельну ОСІ X.


Перемкнемося на вигляд зверху (ліва нижня ГЗ). Включимо режим OSNAP (постійні прив'язки), заздалегідь включивши прив'язки Endpoint і Intersection в настройках OSNAP. Оберемо команду Line і покажемо першу точку відрізка паралельного ОСІ X, прив'язавшись до загальної точки раніше побудованих відрізків (спрацює прив'язка Endpoint, яка зображається жовтим квадратиком). Другу точку задамо такою, щоб отриманий відрізок був перпендикулярний до раніше побудованого і мав довжину 50 одиниць. Для цього включимо в рядку стану режим ORPHO (тепер всі лінії малюватимуться тільки перпендикулярно до осей поточної системи координат), змістимо курсор миші вправо від першої точки (покажемо

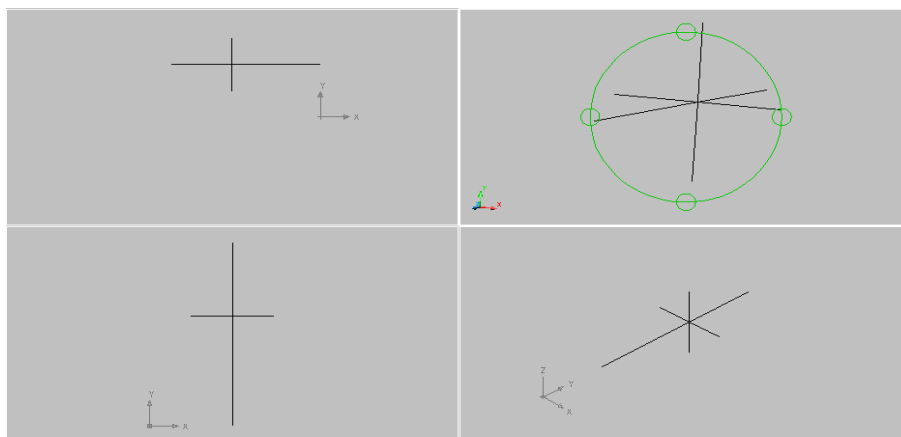
напрям, в якому буде побудований відрізок) і введемо в КР цифру 50. Щоб переконатися в тому, що наш відрізок має довжину = 50, скористаємося командою Distance, яка знаходиться в випадаючому меню Tools\Inquiry, вказавши початкову і кінцеву точки відрізка, довжину якого ми хочемо дізнатися. У КР з'явиться потрібна нам інформація. Далі побудуємо такий же відрізок, але тепер в ліву сторону. Це можна зробити, повторивши дії, вказані вище, або

скориставшись командою Mirror , яка знаходиться на ПІ Modify. Вибравши цю команду, спочатку указуємо об'єкт, дзеркальне відображення якого хочемо зробити, підтверджуємо вибір клавішею Enter. Потім указуємо першу точку лінії дзеркала (прив'яжемося на початок початкового відрізка), вказуємо другу точку (змістимо курсор миші вліво вниз на відстань не більше довжини початкового відрізка, т.ч. щоб віддзеркалений відрізок лежав на одній прямій з оригіналом) і підтвердимо натисненням ЛКМ або клавішею Enter. Після цього Автокад в КР питає нас, видаляти початковий об'єкт чи ні. За умовчанням вибране No. Підтвердивши це клавішею Enter ми отримуємо лінію паралельну ОСі X, довжиною 100, що складається з двох відрізків.

Побудуємо лінію паралельно ОСі Z.

Для цього скористаємося виглядом спереду (права верхня ГЗ) трохи змінивши його за

допомогою команди 3D Orbit , яка знаходиться на ПІ Standard Toolbar. Виділимо потрібний нам вигляд і активізуємо команду 3D Orbit. У ГЗ з'явиться зелений круг, затиснувши ЛКМ в будь-якому місці ГЗ, і пересуваючи мишу по ГЗ ми можемо міняти точку зору на наш об'єкт. Зробимо ТЗ справа зверху. Тепер побудуємо за допомогою команди Line два відрізки довжиною 50 одиниць кожен, перпендикулярні до площини, в якій лежать вже побудовані раніше лінії (режим ОРНО включений). В результаті отримаємо наступне



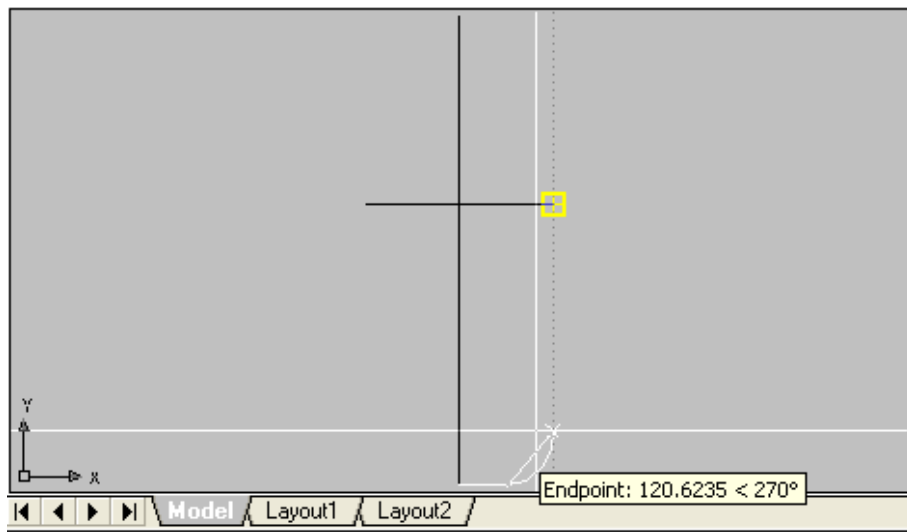
Побудуємо скляний купол неонові лампи.

Малюватимемо всі скляні складові неонові лампи в шарі «Скло» (цей шар робимо поточним (Current)). Куполоподібну поверхню можна створити шляхом обертання твірної навколо певної осі (лінії). При цьому твірна повинна бути суцільною лінією, а не складатися з відрізків. Для побудови твірної, яка задовольняє даній вимозі, скористаємося командою Polyline

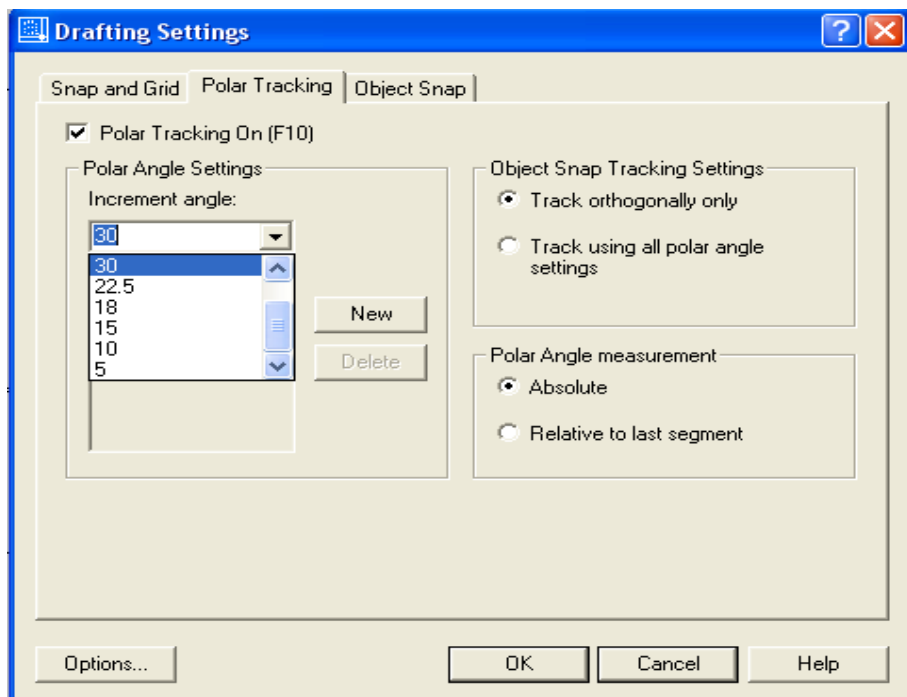



. Її можна знайти на ПІ Draw або в випадаючому меню Draw. Робимо активним вид зверху (ліва нижня ГЗ). Виберемо команду Polyline, прив'яжемося (вказуємо першу точку) до нижньої точки «хреста», утвореного побудованими раніше лініями. Креслити твірну будемо в праву сторону. Режим ОРНО включений. У КР вводимо довжину відрізка 25 (курсор миші знаходиться в правому нижньому квадранті «хреста») і підтверджуємо виконання команди клавішею Enter. Натиснувши букву «a» = Arc (обов'язково повинна бути виставлена англійська розкладка алфавіту) в КР і підтвердивши команду, ми продовжуємо побудову полілінії вже дуговим сегментом. Викл. ОРНО. Кінцеву точку дуги можна поставити, використовуючи прив'язку. Для цього перемістимо курсор миші (в даному випадку кінцева точка дуги) до правої точки «хреста», в якій з'явиться жовтий квадратик. Далі опускаючи курсор миші вниз, уздовж

пунктирної лінії доб'ємося максимально гладкого переходу дуги, що з'явилася, в пунктирну лінію і підтвердимо дію натисненням ЛКМ.




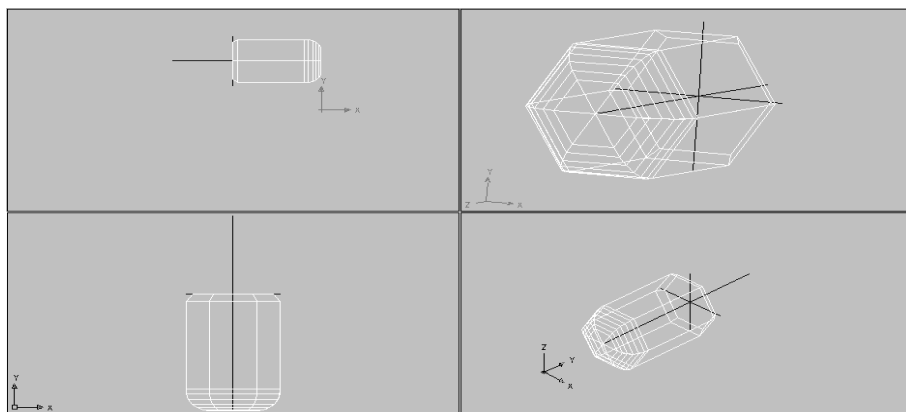
Повернемося до малювання ліній, ввівши букву «l» (Line) в КР. Включимо режим ОРНО. Вводимо довжину відрізка 110, таку щоб лінія не доходила до перпендикулярної до неї прямої (правій частини «хреста»). Продовжимо побудову полілінії під певним кутом. Для цього зробимо активним режим POLAR, заздалегідь налаштувавши його параметри так, щоб прями можна було малювати під кутами, кратними 30 градусам (задати можна будь-який кут).





Ці дії є прозорими, тобто не переривають виконання команди Polyline і ми завершуємо створення твірної, побудувавши останній відрізок так, щоб він перетинав праву частину «хреста» під кутом 60 градусів. Зайву частину відрізка (що знаходиться в правому верхньому квадранті «хреста») можна видалити, використовуючи команду Trim , що знаходиться на ПП Modify. Вибравши цю команду, спочатку потрібно вказати об'єкт (в даному випадку лінія, яку перетинає твірна), який буде «лезом», він виділиться пунктиром. Підтвердимо вибір клавішею


Enter. Тепер вказуємо ту частину відрізка, яку хочемо видалити. Вийти з цієї команди (як і з будь-якої іншої) можна натиснувши клавішу Esc. Т.ч. ми намалювали твірну.

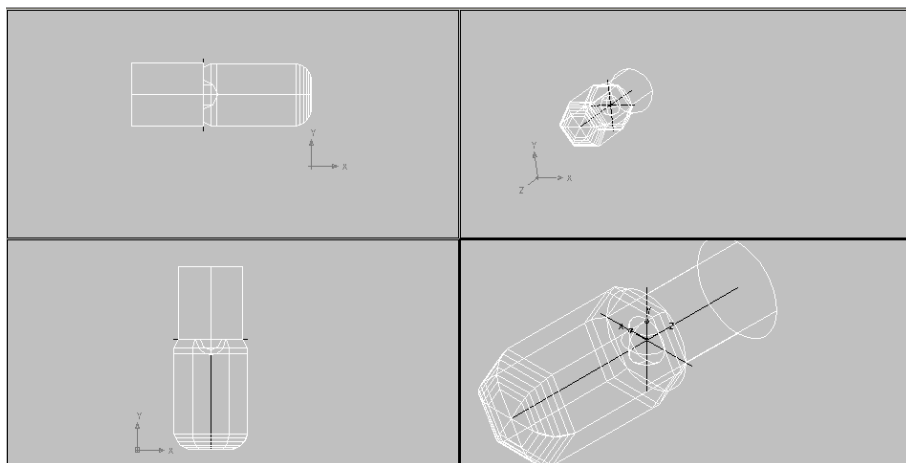
Для побудови куполу, використовуємо команду Revolved , яка знаходиться на ПІ Surfaces. Після натиснення команди Revolved вказуємо об'єкт, який обертатиметься навколо вибраної осі. У нашому випадку це полілінія (твірна), побудована раніше. Далі потрібно вказати вісь, навколо якої обертатиметься твірна, – це наш відрізок паралельний ОСІ Y (нижня частина «хреста»). Після цього запитуються початковий і кінцевий кути повороту твірної. За умовчанням вони поставлені 0 і 360 градусів відповідно, тобто повний оберт. Підтверджуємо ці дії. В результаті ми отримуємо куполоподібну поверхню.



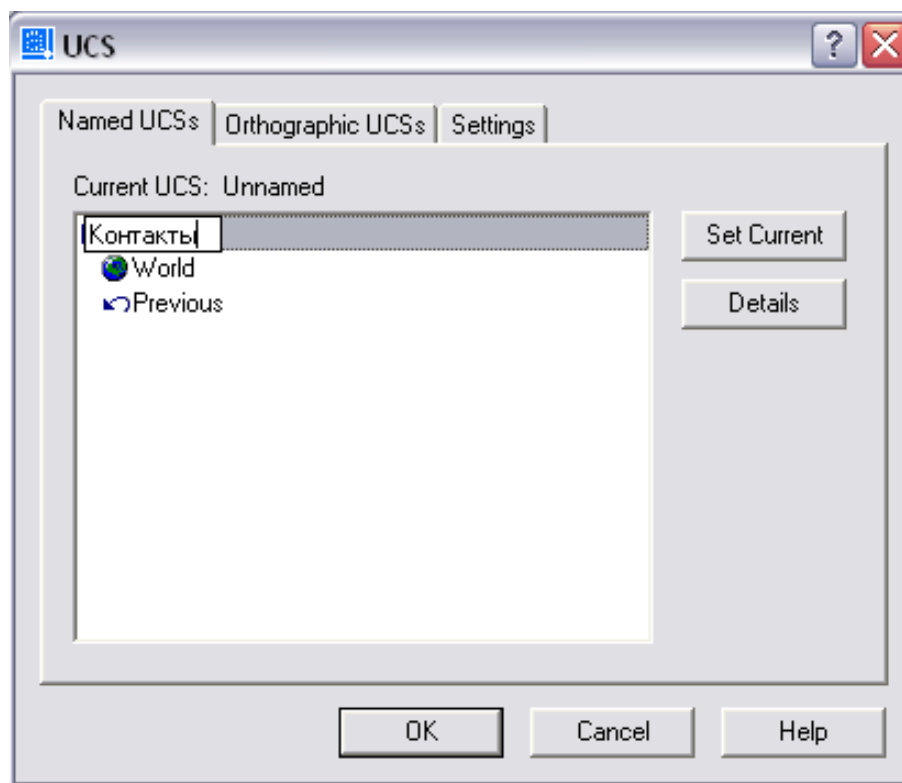
Активуємо вигляд справа збоку (об'ємний).

У центрі «хреста» побудуємо об'ємне тіло (усередині заповнене) – сферу. Для цього викличемо ПІ Solids і виберемо команду Sphere . Вкажемо центр сфери і діаметр = 20. Також побудуємо об'ємне тіло – циліндр, команда Cylinder  (внутрішній діелектрик розділяє контакти). Створимо нову систему координат (СК) з початком в перехресті об'ємного «хреста» і з напрямом осі Z від нас. Зайдемо в випадаючому меню Tools\New UCS\Z Axis Vector – вкажемо початок координат і додатній напрям осі Z. Тепер створимо циліндр, на перший запит в КР вказавши центр основи циліндра (початок координат), потім задамо радіус основи (відстань від початку СК до перетину куполу з правою частиною «хреста») і висоту циліндра.

Об'єднаємо об'ємні тіла циліндр і сферу в одне за допомогою команди Union , що знаходиться на ПІ Solids Editing. Виберемо команду Union, відзначимо об'єкти (перший – ЛКМ, а решту об'єктів виділяємо із затиснутою клавішею Shift), які хочемо об'єднати (циліндр і сферу) і підтвердимо виконання команди.



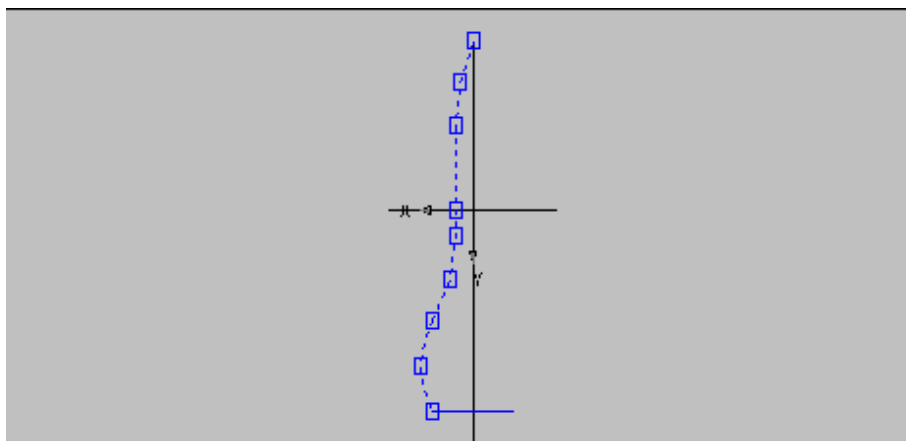
Побудуємо внутрішні складові неонові лампи, тобто контакти. Спочатку побудуємо контакт в шарі «Контакт-». Зробимо цей шар поточним, а шар «Скло» поки відключимо, щоб він нас не відволікав. Малюватимемо цей контакт на вигляді зверху (ліва нижня ГЗ). Для зручності побудови створимо нову систему координат (змінимо напрям осей і перемістимо початок нової СК в перетин осей «хреста»). Для цього зайдемо в випадаючому меню Tools\New UCS\3 Point, тобто побудова СК по трьом точкам – початок координат (перетин «хреста», скористаємося командою 3D Orbit), позитивний напрям осі X (крайня ліва точка «хреста»), позитивний напрям осі Y (нижня точка «хреста»), вісь Z будуватиметься автоматично з урахуванням напрямку осей X і Y. Щоб перемістити точку з координатами (0,0,0) в перетин осей «хреста», скористаємося командою Origin, яка знаходиться в випадаючому меню Tools\New UCS, і вкажемо потрібну нам точку. Збережемо цю СК, зайшовши в випадаюче меню Tools\Named UCS, і назвемо її «Контакти». У цьому меню завжди присутня світова (стандартна) СК – World. Цю або будь-яку іншу створену нами СК можна зробити поточною, виділивши її і натиснувши клавішу Set Current. Повернемо лівому нижньому ГЗ вигляд зверху (ПВ View), при цьому автоматично встановлюється світова СК. Знайдемо в випадаючому меню Tools\Named UCS. і зробимо поточною СК з назвою «Контакти».





Побудуємо відрізок\* (Line) з координатами першої точки (10,0,0) і другої – (10,15,0). Далі, скориставшись полілінією, перейдемо в режим малювання дуг, натиснувши букву «а», прив'язавшись до нижньої точки відрізка\*, за допомогою двох дуг зобразимо продовження контакту (як показано нижче). З кінцевої точки полілінії проведемо відрізок перпендикулярно нижній частині «хреста», так щоб він перетинав її.

З'єднаємо верхню точку відрізка\* з крайньою верхньою точкою «хреста» за допомогою полілінії, що складається з відрізка і дуги, відрізок довжиною 50 будуватиметься паралельно верхній частині «хреста», а дуга сполучає його з крайньою верхньою точкою «хреста». Тепер зайдемо в меню редагування полілінії. У випадаючому меню Modify\Object виберемо опцію Polyline, вкажемо останню побудовану полілінію. У КС з'являться всі можливі команди редагування полілінії. Скористаємося командою об'єднання (Join) для створення з двох поліліній і відрізка, що сполучає їх крайні точки однієї полілінії. У КР введемо «j», виберемо одну полілінію і,

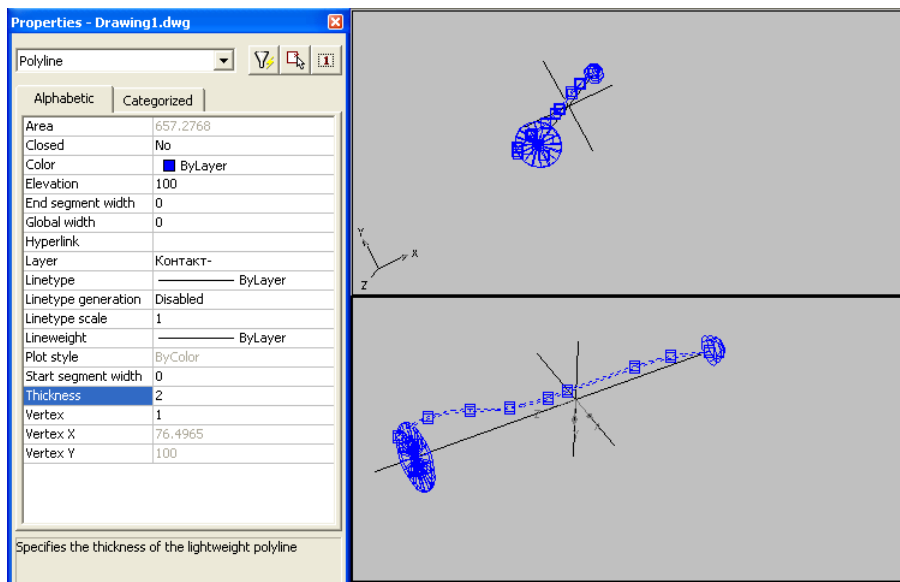
утримуючи Shift, – другу полілінію і відрізок. Натиснувши ЛКМ на отриманій полілінії, переконаємося, що вона суцільна і ніде не уривається. Отримаємо наступне зображення:





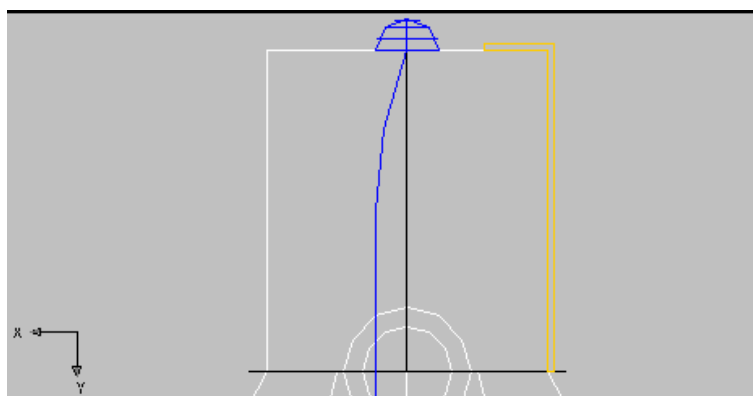
Перемкнемося на правий нижній вигляд. Створимо нову СК з початком координат в перетині осей об'ємного «хреста» і з напрямом осі Z на нас. Скористаємося командою Donut (Кільце), що знаходиться в випадаючому меню Draw, щоб намалювати «заповнений» круг. Після натиснення команди Donut Автокад питає в КР радіус внутрішнього кола кільця – зробимо його = 0, потім зовнішній – введемо цифру 45, і вкажемо центр «заповненому» колу в місці перетину лінії контакту (синя) з щонайдовшою частиною хреста (чорна лінія) під прямим кутом. В другій точці перетину лінії контакту з віссю «хреста» побудуємо об'ємне тіло – сферу. На III Solids виберемо команду Sphere. Вкажемо центр сфери (дальня точка «хреста») і діаметр = 10. За допомогою команди Slice  (III Solids) розділимо сферу навпіл. Натиснувши команду Slice, вибираємо об'єкт, який різатимемо (у нашому випадку сфера), потім площина, по якій проходить розріз (XY), точку, через яку проходить січна площина (центр сфери), і указуємо ту частину сфери (половину), яку хочемо залишити (дальня від нас), або залишивши обидві половини сфери (натиснувши букву «b», на останній запит), непотрібну потім видаляємо. Отримаємо півсферу.

Змінити товщину отриманого контакту можна, змінивши ваги ліній і інших примітивів, з яких він складається. Вагу лінії можна змінити вибравши команду Linewidth Control на III Object properties. Режим LWT в рядку стану = показати\заховати вагу ліній. Проте поняття вага лінії може застосовуватись тільки до плоских об'єктів, для зміни товщини ліній об'ємних об'єктів міняють параметр Thickness, який можна знайти, вибравши об'єкт і викликавши меню Properties . Ікона цього меню знаходиться на III Standard Toolbar. Виберемо заповнене коло і полілінію (півсфера – об'ємне тіло) і змінимо параметр Thickness з 0 на 2.



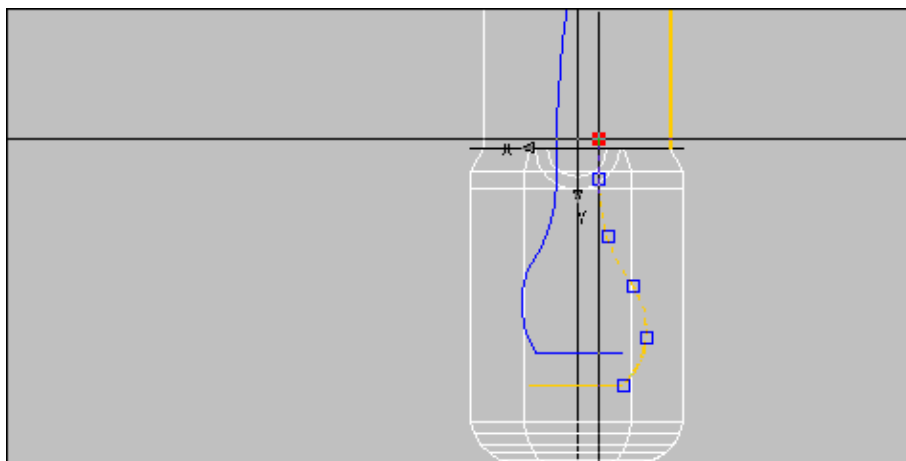


Побудуємо другий контакт, в шарі «Контакт+» (зробимо цей шар поточним). Включимо шар «Скло». Почнемо побудову із створення твірної обода навколо скляного циліндра. Зробимо активною ліву нижню ГЗ (вигляд зверху). Включимо режим ORPHO в рядку стану. Виберемо полілінію на ПІ Draw. Прив'яжемо першу точку полілінії до точки зіткнення скляного куполу (біла лінія під кутом 60 градусів до вісі\*), скляного циліндра (біла лінія під прямим кутом до вісі\*) і правої частини «хреста» (чорна лінія вісь\*). Проведемо лінію вгору, уздовж обода циліндра, до верхньої основи циліндра (скористаємося тимчасовою прив'язкою  до перпендикулярної прямої з ПІ Object Snap) і відкладемо вліво відрізок завдовжки = 20, тобто щоб не було перетину з контактом побудованим в шарі «Контакт-» (синя півсфера). Продовжуємо будувати полілінію перпендикулярно до основи скляного циліндра, тобто вгору – відрізок завдовжки = 2. Далі відкладаємо відрізок завдовжки = 22 управо. У настройках режиму OSNAP ставимо галочку біля прив'язки до перпендикуляра  ☒ Perpendicular, підтверджуємо вибір натисненням кнопки ОК, і продовжуємо побудову полілінії вниз до перетину з правою частиною хреста під прямим кутом. У КР пишемо букву «с» (Close) і натискаємо Enter. Отримуємо замкнуту полілінію, яка слугуватиме твірною для обода навколо скляного циліндра, завтовшки = 2. Поки цей обід будувати не будемо.



Відзначимо, що СК на цьому вигляді у нас знаходиться в центрі «хреста» і називається «Контактом». Тому почнемо побудову нової полілінії із задання координат її першої точки (-10,0,0). Оскільки ми малюватимемо лінію, то в КР напишемо букву «l», підтвердимо клавішею Enter. Побудуємо відрізок паралельно вісі Y (вниз) завдовжки = 15. Далі перейдемо в режим побудови дуг (у КР напишемо букву «a») і за допомогою двох дуг зобразимо продовження контакту (як показано нижче). Закінчимо побудову полілінії натисненням клавіші Enter.


Виберемо команду Line, прив'яжемо її першу точку до закінчення полілінії (кінцевій точці дугового сегменту полілінії) і проведемо перпендикуляр до нижньої частини «хреста», тобто вліво і отримаємо відрізок\*\*. Використовуючи функцію Mirror до відрізка\*\*, зробимо дзеркальне відображення його в лівий нижній квадрант хреста. Редагувати примітиви в Автокаді можна за допомогою «грипсів» (grip) – сині квадратики з'являються при натисненні ЛКМ на примітиві. Виділимо ЛКМ останню побудовану полілінію і відзначимо натисненням ЛКМ самий верхній «грипс» (квадратик стане червоним) точка з координатами (-10,0,0). Відключимо режим OSNAP, а ORPHO включимо і пересунемо виділений грипс (точка\*) на декілька одиниць вгору. Вийти з редагування можна натисненням клавіші Esc.

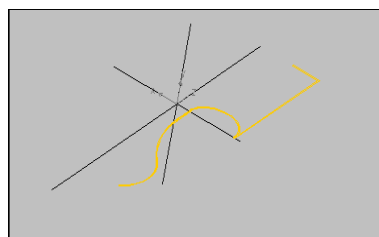
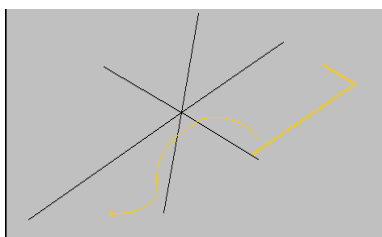




Т.ч. можна редагувати будь-який примітив в Автокаді.

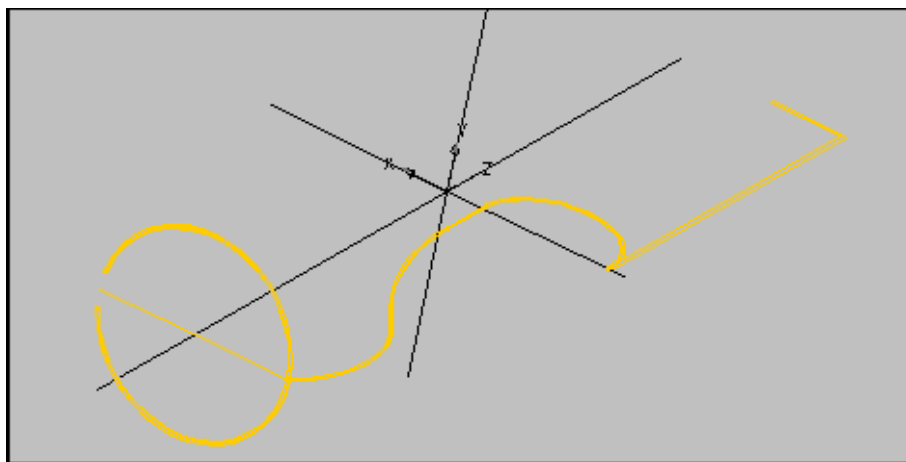
Тепер з'єднаємо наш контакт із твірною обода. Включимо OSNAP, ORPHO вимкнемо. Побудуємо полілінію, прив'яжемо її першу точку до точки\*, перейдемо на побудову дуг («а» в КР, Enter), ще раз напишемо букву «а» в КР (Angle – побудову дуги, задаючи кут). Введемо кут мінус 180 градусів (дуга, яку ми будуватимемо вигнеться в протилежну сторону, по відношенню до початкового положення (вгору)) і прив'яжемо кінцеву точку дуги до точки дотику скляного циліндра і скляного куполу. Об'єднаємо дві полілінії в одну.


Зробимо об'ємною (з певною товщиною) цю полілінію, не використовуючи параметр Thickness.. Для цього в самій нижній точці полілінії вкажемо центр кільця (команда Donut) з внутрішнім діаметром = 0 і зовнішнім = 2. Тепер розвернемо це кільце в просторі за допомогою команди Rotate 3D, яка знаходиться в подаючому меню Modify\3D Operation. Вибравши команду Rotate 3D, спочатку вказуємо об'єкт, який обертатимемо (у нашому випадку - кільце), потім вибираємо, уздовж якої вісі обертатимемо об'єкт (уздовж вісі X), вказуємо точку з координатами (0,0,0) на вісі X (центр кільця), і кут, на який обернеться об'єкт (90 градусів). Тепер видавимо це залите коло уподовж полілінії. Активуємо вигляд справа знизу.


Скористаємося командою Extrude  з 3D Solids, і як об'єкт виберемо розгорнене уздовж вісі X кільце. Далі йде запит, на яку величину потрібно видавити вибраний об'єкт, або натиснувши букву «р» (Path), вказати шлях, по якому видавлюватиметься об'єкт. Натиснемо «р», Enter, і виділимо ЛКМ полілінію, уздовж якої видавлюватиметься «заповнене» кільце і підтвердимо дії натисненням клавіші Enter. При вимкнених шарах «Скло» і «Контакт+» побудова виглядатиме таким чином



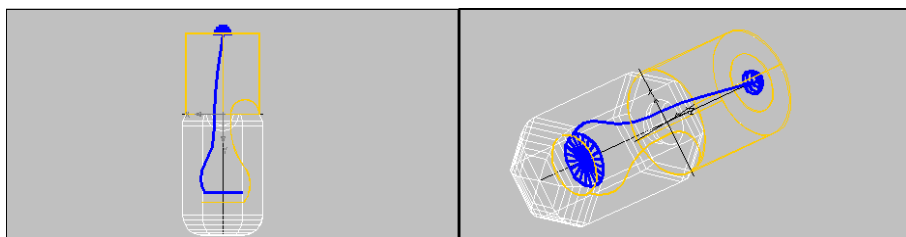
Тепер побудуємо об'ємне кільце (тор) з вирізаним сегментом, яке стикається з кінцевою точкою полілінії, і перпендикулярне до цієї полілінії. Спершу побудуємо відрізок для завдання радіусу тора. Перейдемо до вигляду зверху. Побудуємо відрізок з кінцевої точки полілінії до нижньої частини «хреста» під кутом 90 градусів. За допомогою функції Mirror, відобразимо цей відрізок в лівий нижній квадрант «хреста» (тобто вправо) так, щоб обидва відрізки лежали на одній прямій. Перейдемо на лівий нижній вигляд. Виберемо на III Solids команду Torus . Вкажемо центр тора на перетині тільки що побудованого нами відрізка і нижньої частини «хреста», далі покажемо радіус тора (від вказаного центру тора до кінцевої точки полілінії), і задамо радіус труби тора = 0,5. Далі побудуємо сферу, т.ч. щоб її центр знаходився в кінцевій точці відрізка, рівного діаметру тора і не співпадаючою з кінцевою точкою полілінії. Радіус сфери = 5. За допомогою команди Subtract , що знаходиться на III Solids Editing, віднімемо з тора сферу, з радіусом = 5. Вибравши цю команду, спершу вказуємо об'єкт, із якого відніматимемо (тор), підтверджуємо, а далі віднімаємо об'єкт (сфера), підтверджуємо. В результаті отримаємо наступне



Видалимо допоміжні відрізки (використані для побудови тора і рівні його радіусу), виділивши їх ЛКМ і натиснувши клавішу Delete на клавіатурі або скориставшись командою Erase , яка знаходиться на III Modify.



Закінчимо побудову цього контакту створенням обода навколо скляного циліндра, використовуючи побудовану раніше твірну. Зробимо активним вигляд зверху. Виберемо команду Revolve  з III Solids, вкажемо твірну (замкнуту полілінію), вісь, навколо якої відбуватиметься обертання (Y), і кут повороту (360).

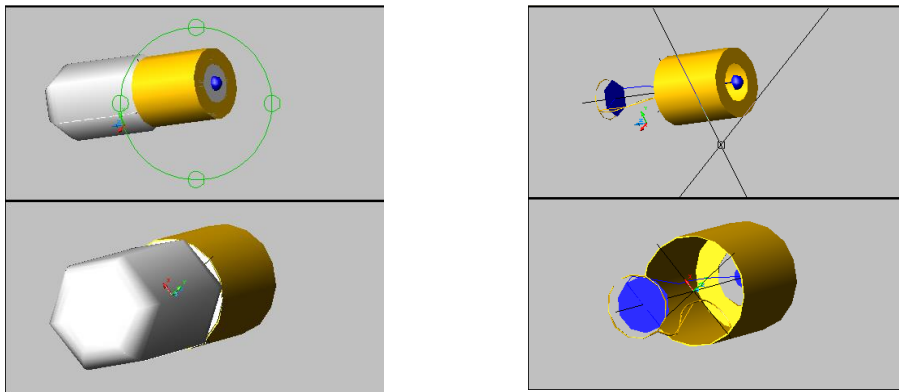
Включивши всі шари, отримаємо наступне зображення (вигляд зверху і об'ємний):



Для кращого сприйняття креслення можна включити режими розфарбовування, викликавши III Shade і вибравши спосіб розфарбовування.





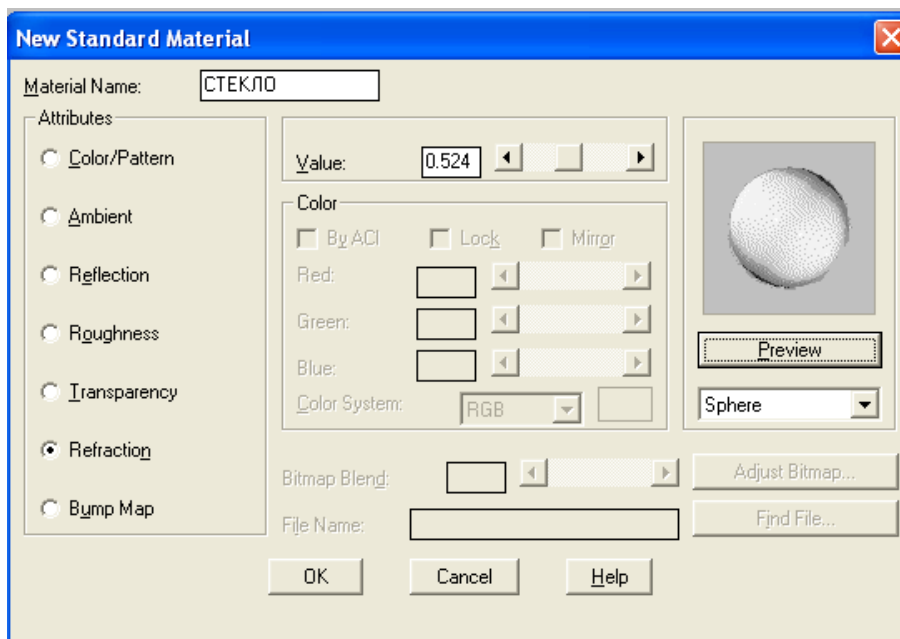
За допомогою команди Hidden  включається режим видалення невидимих ліній, об'єкти представляються в каркасному вигляді, але задні грані не видно. Розфарбуємо, використовуючи команду Gouraud Shaded  і вимкнувши шар «Скло», зможемо побачити контакти неонових ламп.



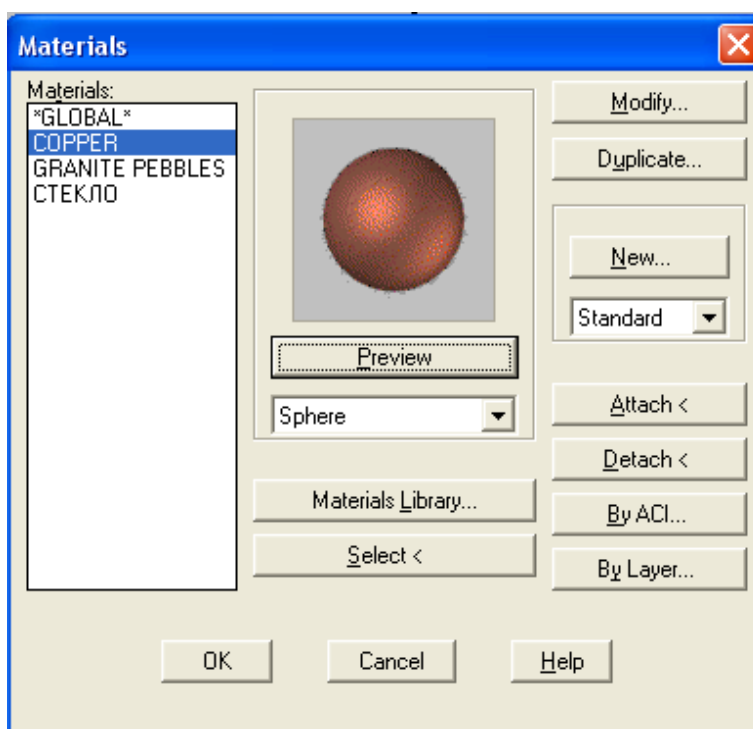
Для створення фото реалістичних зображень застосовується тонування. Тонування включає накладення матеріалів на тривимірні об'єкти, встановлення джерел світла і вибір точки зору на тривимірний об'єкт. Включимо ПП Render.




Перше, з чого починається тонування – це привласнення матеріалів тривимірним об'єктам. Матеріал можна вибрати з бібліотеки матеріалів (Materials Library ) або створити самому, використовуючи меню Materials . Також в цьому меню є три стандартні матеріали, що мають тривимірну структуру, – граніт, мармур і дерево, але для нашого креслення вони не підходять. Створимо новий матеріал «Скло», вибравши команду New в меню Materials. Задамо параметри нашого матеріалу: колір матеріалу, колір найтемнішої ділянки матеріалу (Ambient), здібність до віддзеркалення, шорсткість, прозорість, заломлення світла і витискування (для матеріалів з яскраво вираженою структурою). За допомогою кнопки Preview викликаємо попередній перегляд на прикладі сфери або куба.



Привласнення матеріалу об'єкту здійснюється за допомогою команди Attach, за кольором – By ACI., по шару - By Layer. з меню Materials. З бібліотеки матеріалів виберемо матеріал Copper (для контактів), Granite Pebbles (для тора і заповненого кола, що знаходяться в скляному куполі). Привласнимо створений нами матеріал «СКЛО» шару «Скло», Copper – двом полілініям контактів, півсфері і ободу, Granite Pebbles – тору, з вирізаним сегментом і заповненому колу, що знаходяться на кінцях контактів.



Тепер можна приступати до тонування. Натискаємо ікону Render  на III Render і потрапляємо в однойменне меню. Тут виставляються параметри тонування і після натиснення кнопки Render отримуємо наступне зображення:

